



**Tiago Gonçalo Garcia Maurício**

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

**Rebocos Armados Aplicados em Paredes de Edifícios Antigos e Novos.  
Levantamento de Soluções, Técnicas de Aplicação e Características.**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de Construi  o

Orientador: Prof. Doutor Fernando Farinha da Silva Pinho

Coorientador: Prof. Doutor V lter José da Guia Lúcio

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Nuno M. C. Guerra

Arguente: Prof. Doutora Maria Paulina S. F. Faria Rodrigues



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Dezembro 2012**



'Copyright" Tiago Gonçalo Garcia Maurício, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## Agradecimentos

Agradeço aqui a todos os que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Fernando Pinho e ao Professor Válder Lúcio pela disponibilidade, orientação e apoio demonstrados ao longo deste percurso.

Ao Engenheiro Jorge Sousa pela ajuda na pesquisa bibliográfica.

Ao Engenheiro José Manuel Maia e ao senhor Alfredo Pontes pela disponibilidade para me acompanhar na visita às instalações da Vimaplás Tecidos Técnicos, Lda.

À Engenheira Dina Frade da Secil Argamassas pela disponibilidade para me acompanhar na visita às instalações da empresa.

Ao Engenheiro Tiago de Vasconcelos da Tecniarte pelos esclarecimentos detalhados da aplicação das técnicas de reforço utilizadas na reabilitação do edifício visitado.

Agradeço também ao Engenheiro Nuno Travassos da A2P Consult, Estudos e Projetos Lda. Pela cedência dos elementos e projeto e peças desenhadas da obra visitada.

Agradeço igualmente à Engenheira Vânia Vilhena pelas fotos que me disponibilizou de obras realizadas pela empresa Mota-Engil (Figuras: 2.5; 2.13; 2.16; 2.17; 2.23; 2.24a; 2.24b; 2.25a; 2.26; 3.12).

À Andreia Pedro pela ajuda na revisão do texto.

À Cátia Abreu e ao Fábio Andrade pelo auxílio informático disponibilizado.

À minha família, em especial aos meus pais, pelo apoio, carinho e condições que me proporcionaram ao longo do meu percurso académico.

A todos os meus amigos, dentro e fora da faculdade, pela amizade, incentivo e força que me deram ao longo destes últimos meses.



## Resumo

O tema desta Dissertação de Mestrado insere-se num estudo atualmente em curso no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, sobre a análise experimental e numérica de paredes de alvenaria de pedra tradicional, reforçadas com reboco armado e confinamento transversal (igualmente orientada pelos Professores Fernando Pinho e Válder Lúcio).

Em todo o país, à semelhança do que acontece na Europa, verifica-se a existência de edifícios antigos ao abandono, principalmente em centros históricos e urbanos. Em virtude da sua importância patrimonial, cultural e arquitetónica urge a necessidade de requalificação dos mesmos. A importância da reabilitação de edifícios antigos requer, por isso, o desenvolvimento de novas técnicas e soluções de intervenção. As paredes dos edifícios antigos são, na sua maioria, constituídas de alvenaria de pedra e fazem parte integrante da estrutura do edifício, daí se denominarem por paredes resistentes. Os edifícios novos têm paredes constituídas, geralmente, por elementos de preenchimento de pórticos de betão armado (tijolos cerâmicos, blocos de betão, etc.). Apresentam diversas anomalias com influência direta na habitabilidade das habitações, é frequente ouvir relatos de proprietários que apontam estas estruturas como principal foco de insatisfação nas suas habitações.

Um reboco armado tem diferentes funções quando aplicado em paredes de edifícios antigos e quando aplicado em edifícios novos. A aplicação de um reboco armado numa parede de um edifício antigo tem como objetivo reforçar a parede e o próprio reboco, enquanto que a aplicação num edifício novo tem visa apenas reforçar o reboco. O reforço é executado com redes distendidas sobre a alvenaria, conferindo deste modo uma distribuição uniforme de tensões.

A dissertação encontra-se dividida em duas partes com um total seis capítulos. Na primeira parte, resultante de uma pesquisa bibliográfica, são apresentadas as principais características dos rebocos armados, identificando as soluções e técnicas de aplicação mais utilizadas. Posteriormente, são analisados alguns trabalhos de investigação do mesmo domínio. A segunda parte contempla um conjunto de visitas efetuadas, nomeadamente, a uma obra de reabilitação de um edifício antigo, a uma fábrica de produção de redes de fibra de vidro e a uma fábrica de produção de argamassas secas.

**Palavras-chave:** Edifício antigo, edifício novo, alvenaria de pedra tradicional, alvenaria não estrutural, reabilitação, reboco armado.

---



## Abstract

This thesis' subject fits into a PhD dissertation currently being developed in the Civil Engineering department of the Faculty of Science and Technology of the Universidade Nova de Lisboa concerning the experimental and numeric analysis of the traditional masonry walls strengthened with reinforced grout and transverse confinement (also supervised by Professor Fernando Pinho and Professor Válder Lúcio).

All over the country, just like in Europe, there are old abandoned buildings, mainly in historical and urban centers. As a result of its architectural, cultural and patrimonial importance, there is a sense of need for their requalification. The importance of rehabilitating ancient buildings makes it necessary that new techniques and intervention solutions be developed. The walls of ancient buildings, in most cases, consist of stone masonry and incorporate the actual structure of the building, reason for which they are labeled as resistant walls.

In new buildings, the walls are generally formed by filling venting elements of reinforced concrete (clay bricks, concrete blocks, etc.). Presenting various anomalies that influence directly, the habitability of the home, this leads to the reports from homeowners who present their dissatisfaction, mainly concerning the structure of their houses.

Reinforced plaster has different functions when applied to ancient buildings as to when it is applied to new buildings. Applying reinforced plaster to an ancient building has the objective of reinforcing the wall and the plaster itself, while applying it to a new building its only purpose is to reinforce the plaster. The reinforcement is executed with nets distended over the masonry, thus providing a uniform distribution of the tension.

This thesis is divided into two parts which are organized in 6 chapters. In the first part, which resulted from a bibliographical research, the main features of the reinforced plaster will be presented, identifying the most commonly used solutions and application techniques. After that, some research work concerning the same matters will be analyzed. The second part corresponds to a series of visits that were made to various locations, namely, a rehabilitation site of an ancient building, a production factory of fiber glass nets and a factory of dry mortar.

**Keywords:** Ancient building, new building, masonry Wall, non structural masonry, rehabilitation, reinforced plaster.

---

# Índice do Texto

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1.	Considerações gerais .....	1
1.2.	Objetivos .....	2
1.3.	Organização do trabalho .....	2

## CAPÍTULO 2 – APLICAÇÃO DE REBOCOS ARMADOS EM PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

2.1.	Considerações gerais .....	3
2.2.	Principais características do suporte .....	3
2.2.1.	Paredes resistentes .....	4
2.2.2.	Paredes divisórias .....	6
2.3.	Registo de anomalias .....	6
2.3.1.	Fendilhação .....	7
2.3.2.	Desagregação .....	8
2.3.3.	Esmagamento .....	9
2.4.	Condicionalismos de intervenção .....	10
2.5.	Técnicas de reforço de paredes de edifícios antigos .....	10
2.5.1.	Desmonte e reconstrução .....	11
2.5.2.	Refechamento de juntas .....	11
2.5.3.	Reboco armado .....	12
2.5.4.	Confinamento transversal de paredes .....	13
2.5.5.	Injeção de caldas .....	16
2.5.6.	Cintagem global do edifício .....	17
2.5.7.	Elementos de material compósito .....	18
2.5.8.	Encamisamento .....	18
2.5.9.	Pré-esforço vertical .....	19
2.5.10.	Outras soluções .....	19
2.6.	Reboco armado – caracterização pormenorizada .....	20
2.6.1.	Argamassa de revestimento .....	21
2.6.2.	Armadura de reforço .....	22
2.6.3.	Técnicas de aplicação .....	28
2.6.4.	Alguns erros de execução .....	30

## CAPÍTULO 3 – APLICAÇÃO DE REBOCOS ARMADOS EM PAREDES DE EDIFÍCIOS NOVOS

3.1.	Considerações gerais .....	31
3.2.	Principais características do suporte .....	31
3.3.	Registo de anomalias .....	35
3.3.1.	Fissuração .....	36
3.3.2.	Manifestações de humidade .....	41

---

3.3.3. Degradação de revestimentos .....	42
3.4. Técnicas de reabilitação de paredes de edifícios novos .....	42
3.4.1. Reboco armado .....	43
3.4.2. Tratamento de fissuras em “ponte” .....	43
3.4.3. Armadura de junta .....	44
3.5. Reboco armado – Caracterização pormenorizada .....	45
3.5.1. Argamassa de revestimento .....	46
3.5.2. Armaduras de reforço .....	47
3.5.3. Técnicas de aplicação .....	52
 <b>CAPÍTULO 4 – TRABALHOS EXPERIMENTAIS</b>	
4.1. Considerações gerais .....	59
4.2. Trabalhos experimentais analisados .....	59
4.2.1. Rebocos armados aplicados em suportes de alvenaria de pedra .....	60
4.2.2. Rebocos armados aplicados em suportes de alvenaria de tijolo cerâmico .....	80
4.2.3. Rebocos armados aplicados em alvenarias de tijolo cerâmico e blocos de pedra .....	84
4.2.4. Reforço de argamassas com fibras curtas .....	91
 <b>CAPÍTULO 5 – TRABALHO DE CAMPO</b>	
5.1. Considerações gerais .....	99
5.2. Visitas a instalações fabris .....	100
5.2.1. Visita à empresa de produção de redes em fibra de vidro .....	100
5.2.2. Visita à fábrica de produção de argamassas secas .....	106
5.3. Visita à obra de reabilitação de um edifício pombalino .....	109
5.3.1. Anomalias verificadas no edifício .....	110
5.3.2. Reforço .....	111
5.3.3. Zonas particulares .....	117
 <b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES, COMENTÁRIOS FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS</b>	
6.1. Considerações gerais .....	119
6.2. Conclusões e comentários finais .....	120
6.3. Desenvolvimentos futuros .....	121
 <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	 123

## Índice de Figuras

Figura 2.1 – Representação esquemática de secções transversais .....	5
Figura 2.2 – Frontal Pombalino com alguns dos painéis de alvenaria originais .....	5
Figura 2.3 – Exemplo de uma parede divisória em tabique .....	6
Figura 2.4 – Exemplo de fendilhação entre panos de alvenaria ortogonais .....	7
Figura 2.5 – Exemplo de desagregação de construções em alvenaria .....	8
Figura 2.6 – Exemplo de apoio de viga de madeira sobre parede de alvenaria de pedra .....	9
Figura 2.7 – Exemplo de execução dos trabalhos de refechamento de juntas .....	12
Figura 2.8 – Exemplo de um reboco armado com rede metálica .....	13
Figura 2.9 – Esquema de um conector de confinamento (secção transversal) .....	14
Figura 2.10 – Representação esquemática de pregagens.....	15
Figura 2.11 – Representação esquemática do Reticolo cementato (secção transversal) .....	15
Figura 2.12 – Injeção de caldas sob pressão num modelo de alvenaria de pedra irregular.....	17
Figura 2.13 – Exemplo de um painel de alvenaria reforçado com FRP .....	18
Figura 2.14 – Exemplo da utilização do encamisamento como solução de reforço .....	19
Figura 2.15 – Manutenção da fachada e demolição do interior .....	20
Figura 2.16 – Exemplos de revestimentos incompatíveis com o suporte .....	21
Figura 2.17 – Exemplos de sistemas de ancoragem das redes metálicas ao suporte .....	23
Figura 2.18 – Exemplo de aplicação de um reforço com rede de aço distendido .....	24
Figura 2.19 – Esquema de fixação da rede polimérica.....	24
Figura 2.20 – Material e esquema de aplicação do sistema Richtergard .....	25
Figura 2.21 – Representação do sistema de ancoragem do sistema TRM .....	25
Figura 2.22 – Muretes reforçados com confinamento transversal contínuo .....	26
Figura 2.23 – Rede de fibras de basalto .....	27
Figura 2.24 – Exemplo da marcação do local do sistema de ancoragem na parede .....	28
Figura 2.25 – Exemplo de aplicação de uma armadura de reforço .....	29
Figura 2.26 – Exemplo de locais com dificuldade especial de aplicação .....	29
Figura 2.27 – Exemplo de aplicação da argamassa de reboco projetada .....	30
Figura 2.28 – Exemplo de anomalias resultantes de erros de aplicação de um reboco armado .....	30
Figura 3.1 – Representação esquemática aproximada da evolução das paredes em Portugal .....	32
Figura 3.2 – Diferentes tipos de tijolos cerâmicos .....	33
Figura 3.3 – Blocos de betão para alvenaria .....	34
Figura 3.4 – Representação de uma fenda típica devido à dilatação da laje.....	37
Figura 3.5 – Representação de uma fenda horizontal devido a movimentações higroscópicas .....	38
Figura 3.6 – Representação da fendilhação nos cantos das aberturas.....	39
Figura 3.7 – Representação de fendas causadas por deformação da estrutura de suporte .....	39
Figura 3.8 – Representação esquemática de fendas provocadas por assentamento de apoio.....	40
Figura 3.9 – Exemplos de manifestações de humidade em paredes exteriores .....	41

Figura 3.10 – Exemplos de deteriorização dos revestimentos devido à humidade ascensional .....	41
Figura 3.11 – Exemplo de anomalias em revestimentos cerâmicos .....	42
Figura 3.12 – Exemplo de aplicação de um reboco armado .....	43
Figura 3.13 – Execução do tratamento de uma fissura em “ponte” .....	44
Figura 3.15 – Exemplos de aplicação de um reboco tradicional.....	46
Figura 3.16 – Exemplo de aplicação de um reboco monocamada .....	47
Figura 3.17 – Curvas força-deslocamento de provetes reforçados com fibras em tração pura.....	48
Figura 3.18 – Exemplo de fibras de vidro dispersas para reforço de argamassas .....	50
Figura 3.19 – Exemplo de fibras de polipropileno para reforço de argamassas .....	50
Figura 3.20 – Exemplos de redes de fibra de vidro .....	52
Figura 3.21 – Esquema ilustrativo de um reboco armado em zona corrente da parede .....	53
Figura 3.22 – Representação esquemática de reboco armado em zona heterogénea do suporte .....	53
Figura 3.23 – Reforço dos cantos de janelas .....	54
Figura 3.24 – Representação esquemática de um reboco armado para reparação de uma fenda .....	54
Figura 3.25 – Custos de aplicação de alguns tipos de rebocos (€/m <sup>2</sup> ) .....	55
Figura 3.26 – Representação esquemática do sistema ETICS .....	56
Figura 3.27 – Exemplo de aplicação de um sistema ETICS .....	57
Figura 4.1 – Construção dos muretes e suas dimensões .....	61
Figura 4.2 – Representação esquemática das soluções de reforço estudadas por F. Pinho .....	62
Figura 4.3 – Ensaio de compressão axial realizado por F. Pinho .....	63
Figura 4.4 – Gráfico força-deslocamento da solução II-B1 .....	63
Figura 4.5 – Gráfico força-deslocamento da solução II-B2 .....	64
Figura 4.6 – Gráfico força-deslocamento da solução II-B3 .....	64
Figura 4.7 – Gráfico força-deslocamento da solução III-A2 .....	65
Figura 4.8 – Gráfico força-deslocamento da solução IV .....	65
Figura 4.9 – Ensaio de compressão-corte realizado por F. Pinho .....	66
Figura 4.10 – Gráfico força-deslocamento da solução II-B3 .....	66
Figura 4.11 – Gráfico força-deslocamento da solução de reforço IV .....	67
Figura 4.12 – Reforço de uma alvenaria com rede polimérica .....	67
Figura 4.13 – Ensaio de compressão-corte realizado por A. Dusi .....	68
Figura 4.14 – Gráficos força-deslocamento do ensaio de compressão-corte .....	68
Figura 4.15 – Modelo de alvenaria construído por D. Estévez .....	69
Figura 4.16 – Aplicação da solução de reforço TRM.....	70
Figura 4.17 – Localização dos conectores transversais CFRP .....	71
Figura 4.18 – Evolução dos danos na parede sem reforço .....	71
Figura 4.19 – Evolução dos danos na parede reforçada .....	71
Figura 4.20 – Gráficos força-deslocamento das alvenarias com e sem reforço.....	72
Figura 4.21 – Representação das dimensões do modelo construído por R. Baião e M. Silva .....	73
Figura 4.22 – Construção e reforço do modelo.....	74

Figura 4.23 – Danos após a primeira fase do trabalho .....	75
Figura 4.24 – Danos após a segunda fase .....	75
Figura 4.25 – Localização original da parede .....	76
Figura 4.26 – Ensaio de compressão-corte da parede de alvenaria .....	77
Figura 4.27 – Resultado do ensaio realizado por A. Costa .....	77
Figura 4.28 – Execução do reforço da alvenaria .....	78
Figura 4.29 – Resultados do ensaio .....	79
Figura 4.30 – Representação dos dois painéis construídos por C. Colombo .....	80
Figura 4.31 – Painel com aberturas assimétricas reforçado com rede polimérica .....	81
Figura 4.32 – Paredes sem aberturas com e sem reforço após realização do ensaio cíclico .....	81
Figura 4.33 – Parede com aberturas após ensaio cíclico .....	82
Figura 4.34 – Gráfico Força-Rotação dos painéis sem aberturas com e sem reforço .....	82
Figura 4.35 – Diferentes paredes para ensaio à compressão simples realizado por F. Oliveira .....	83
Figura 4.36 – Preparação das paredes para o ensaio de compressão simples .....	83
Figura 4.37 – Gráfico força-encurtamento médio da parede .....	84
Figura 4.38 – Representação da tipologia e dimensão dos modelos em tijolo cerâmico .....	84
Figura 4.39 – Representação da tipologia e dimensão dos modelos em bloco de pedra .....	85
Figura 4.40 – Modelos construídos por C. Papanicolaou .....	88
Figura 4.41 – Ensaio de flexão (carregamento fora do plano) .....	88
Figura 4.42 – Gráficos carga-deslocamento a meio vão .....	89
Figura 4.43 – Ensaio cíclico (carregamento no plano) .....	90
Figura 4.44 – Gráficos carga-deslocamento no topo do modelo .....	90
Figura 4.45 – Ensaio de resistência à flexão de um provete reforçado com fibras de sisal .....	92
Figura 4.46 – Resultados do ensaio de flexão aos 14 e 28 dias .....	93
Figura 4.47 – Ensaio de resistência à compressão do provete sem fibras .....	93
Figura 4.48 – Ensaio de resistência à compressão de um provete com fibras de sisal .....	94
Figura 4.49 – Ensaio de compressão aos 14 e 28 dias .....	94
Figura 4.50 – Análise comparativa das perdas e ganhos de resistência aos 28 dias .....	95
Figura 4.51 – Ensaio das diferentes misturas de argamassas .....	95
Figura 4.52 – Ensaio dos provetes realizado por T. Sevil .....	96
Figura 4.53 – Ensaio cíclico realizado por T. Sevil .....	96
Figura 5.1 – Localização das visitas efetuadas .....	99
Figura 5.2 – Localização das instalações da Vimaplás – Tecidos Técnicos .....	100
Figura 5.3 – Representação do processo de formação dos filamentos .....	102
Figura 5.4 – Produtos comerciais de fibras de vidro .....	103
Figura 5.5 – Bobines primitivas .....	103
Figura 5.6 – Tear para produção da rede de fibra de vidro .....	104
Figura 5.7 – Tipos de pontos de tecido .....	104
Figura 5.8 – Processo de tecelagem da rede de fibra de vidro .....	105

---

Figura 5.9 – Embalagem da rede produzida.....	105
Figura 5.10 – Fábrica de Argamassas secas da Secil.....	106
Figura 5.11 – Preparação das matérias-primas .....	107
Figura 5.12 – Dipositivo pneumático de carregamento dos ligantes para os silos correspondentes .	107
Figura 5.13 – Dosagem e pesagem das diferentes matérias-primas .....	108
Figura 5.14 – Aspeto do misturador.....	108
Figura 5.15 – Armazenamento das argamassas .....	109
Figura 5.16 – Localização do edifício visitado .....	109
Figura 5.17 – Exemplos de anomalias observadas .....	111
Figura 5.18 – Constituição dos pavimentos .....	112
Figura 5.19 – Colocação dos tarugos .....	113
Figura 5.20 – Reparação das paredes de frontal .....	113
Figura 5.21 – Reabilitação de paredes .....	114
Figura 5.22 – Esquema de uma pregagem entre um frontal e uma parede resistente exterior.....	115
Figura 5.23 – Reforço da escada com perfis metálicos .....	116
Figura 5.24 – Cobertura do edifício .....	116
Figura 5.25 – Aspeto final de uma zona já intervencionada.....	117



## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Classificação das paredes de alvenaria segundo o fim a que se destinam .....	4
Tabela 2.2 – Resistência dos diferentes tipos de fibras do sistema TRM .....	27
Tabela 2.3 – Algumas propriedades mecânicas e física dos materiais das armaduras de reforço .....	28
 Tabela 3.1 – Propriedades de diferentes fibras de reforço para argamassas .....	 49
 Tabela 4.1 – Propriedades físicas das redes de reforço utilizadas por C. Papanicolaou .....	 85
Tabela 4.2 – Propriedades das argamassas e agentes de ligação .....	86
Tabela 4.3 – Plano de ensaios realizados por C. Papanicolaou .....	87
Tabela 4.4 – Propriedades das fibras de sisal e de algumas fibras minerais .....	92
 Tabela 5.1 – Constituição química das fibras de vidro .....	 101

---

## Simbologia

AFRP	Polímeros Reforçados com Fibras de Aramida ( <i>Aramid Fiber Reinforced Polymer</i> )
CFRP	Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono ( <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i> )
ELSA	Laboratório Europeu de Avaliação Estrutural ( <i>European Laboratory for Structural Assessment</i> )
ETAG	Guia de Aprovação Europeia ( <i>European Technical Approval Guideline</i> )
ETICS	Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior ( <i>External Thermal Insulation Composite Systems</i> )
FRP	Polímeros Reforçados com Fibras ( <i>Fiber Reinforced Polymer</i> )
GFRP	Polímeros Reforçados com Fibras de Vidro ( <i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i> )
LESE	Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
PVA	Álcool Polivinílico ( <i>Polyvinyl Alcohol</i> )
PVC	Cloreto de polivinilo ( <i>Polyvinyl Chloride</i> )
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios
RGEU	Regulamento Geral de Edificações Urbanas
RGR	Regulamento Geral de ruído
TRM	Argamassa Reforçada com Fibras Têxteis ( <i>Textil Reinforced Mortar</i> )

---

# INTRODUÇÃO

### 1.1. Considerações gerais

Um pouco por todo o país, verifica-se a necessidade de reabilitação em vários edifícios resultante da estagnação do mercado imobiliário. As anomalias encontradas são de maior ou menor gravidade consoante a idade das construções, as técnicas construtivas utilizadas, os critérios seguidos na escolha dos materiais, bem como dos cuidados com a manutenção ao longo da vida dos edifícios [6]. No caso das estruturas antigas, esta necessidade parece cada vez mais urgente levando no sentido da conservação e reabilitação do património cultural e arquitetónico. Nos meios urbanos, onde existe uma pressão imobiliária mais intensa, aliada aos eventuais valores patrimoniais, associa-se a necessidade de rentabilizar a utilização destes edifícios antigos dotando-os, quando possível, de características e exigências semelhantes às das construções novas [52].

A necessidade de reforçar alvenarias de edifícios antigos por um lado, e a de reabilitar alvenarias de construções novas por outro, nomeadamente de forma a melhorar o comportamento a ações acidentais (ações sísmicas, por exemplo), tem levado a que vários investigadores procurem e estudem novas técnicas e materiais de reforço.

Em estruturas antigas, tendo em conta a sua fragilidade, as intervenções requerem particular rigor, critério e formação técnica específica na elaboração do estudo de diagnóstico que serve de suporte à tomada de decisão sobre as técnicas e metodologias a adotar. Este estudo pressupõe um conjunto de inspeções de avaliação estrutural, caracterização tipológica e mecânica das alvenarias alvo de intervenção. Como tal, o desempenho estrutural das alvenarias está dependente das características da secção das paredes (simples ou compostas) e dos materiais (dimensões dos elementos, grau de heterogeneidade, estado de degradação, etc.) [6].

No caso das construções novas, as paredes são, na sua maioria, de preenchimento das estruturas porticadas de betão armado. Estas paredes são o principal foco de anomalias nos edifícios, sendo as mais frequentes resultantes da fissuração como por exemplo, problemas de estanquidade e humidade que, consequentemente, provocam degradação dos revestimentos e acabamentos. Torna-se por isso imperativo prevenir essas anomalias e, quando tal não for feito atempadamente, proceder à sua correção de modo eficiente. Os aspetos com maior relevância que estão na origem das referidas anomalias relacionam-se com o projeto (que impõe a solução construtiva), aspetos de carácter económico, a qualidade de mão-de-obra e as práticas construtivas [36, 56].

---

## **1.2. Objetivos e metodologia**

O presente trabalho tem como principal finalidade identificar as várias soluções, técnicas e características existentes de rebocos armados. Esta técnica de reforço tem um campo de aplicação alargado, sendo possível, no caso dos edifícios antigos, reforçar as paredes e o reboco, e no caso das alvenarias de edifícios novos, melhorar as características dos rebocos, nomeadamente, reduzindo os problemas de fissuração.

Pretende-se avaliar a eficácia desta solução de reforço do ponto de vista teórico e prático, identificando os materiais correntemente utilizados como armadura dos rebocos e a forma como são aplicados em função do tipo de reforço pretendido.

No caso dos edifícios antigos, faz-se uma análise às construções de alvenaria de pedra tradicional (igualmente denominada de alvenaria de pedra irregular), onde se tem em consideração as diferentes tipologias que se encontram no nosso país e as suas anomalias mais relevantes. Descreve-se também as diversas técnicas de reforço mais correntemente utilizadas na reabilitação de edifícios antigos, onde se insere o reboco armado.

No que concerne às alvenarias dos edifícios novos, faz-se uma análise similar, identificando as anomalias mais frequentemente verificadas e sobre as quais os rebocos armados serão, naturalmente, uma solução adequada.

## **1.3. Organização do trabalho**

O trabalho encontra-se dividido em 6 capítulos, apoiados em pesquisa bibliográfica.

No capítulo 1 faz-se a introdução ao tema da dissertação e referem-se os objetivos e a organização do trabalho.

No capítulo 2 é feito o levantamento de soluções e técnicas de aplicação de rebocos armados fazendo previamente uma caracterização das alvenarias de edifícios antigos, nomeadamente, anomalias registadas, principais condicionantes de intervenção e técnicas de reforço.

No capítulo 3 com uma estrutura semelhante ao anterior, faz-se o levantamento de soluções e técnicas de aplicação de rebocos armados em edifícios novos, analisando previamente as características das alvenarias desses edifícios, nomeadamente, materiais utilizados, anomalias registadas e principais técnicas de reforço.

No capítulo 4 são analisados alguns trabalhos experimentais realizados em unidades de investigação nacionais e internacionais, sobre o comportamento mecânico de diversos modelos em alvenaria, simples ou com a aplicação de rebocos armados.

O Capítulo 5 contempla os resultados das visitas realizadas em complemento à pesquisa bibliográfica registada nos capítulos 2 e 3. Os locais visitados foram: uma fábrica de produção de redes de fibra de vidro; uma fábrica de produção de argamassas secas; uma obra de reabilitação de um edifício antigo.

No Capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões, fazem-se os comentários finais e referem-se possíveis desenvolvimentos futuros.

# APLICAÇÃO DE REBOCOS ARMADOS EM PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

## 2.1. Considerações gerais

A utilização de rebocos armados como solução de reforço de edifícios antigos de alvenaria é uma técnica bastante usual. Desde os anos setenta do século passado encontram-se edifícios reforçados recorrendo à utilização de redes metálicas nos rebocos. Esta solução foi amplamente utilizada, por exemplo, em Itália, para reabilitação de inúmeras construções após o sismo de Friuli em 1976 e continua ainda a ser utilizada hoje em dia, apesar de algumas contraindicações intrínsecas ao método, nomeadamente relacionadas com a sua real eficácia e durabilidade [37].

As alvenarias de pedra tradicional apresentam grande capacidade de deformação. No entanto, as ações sísmicas e os movimentos diferenciais das fundações, contribuem para os problemas de fissuração e fendilhação. De forma a melhorar as características das construções de alvenaria de pedra, incluindo o comportamento sísmico, o reforço das paredes com soluções de reboco armado tem mostrado grande potencial. Esta técnica garante um grau de confinamento elevado às paredes e aumenta a capacidade resistente [51].

Recentemente, têm sido propostos diferentes materiais para o reforço dos rebocos, como é o caso das redes de fibra de carbono, disponíveis no mercado com um custo muito elevado em relação às opções já existentes: redes metálicas, poliméricas ou de fibras de vidro [37].

Neste enquadramento apresenta-se, nas secções seguintes, uma caracterização da técnica de reforço de alvenarias de edifícios antigos com reboco armado. Além disso faz-se uma análise prévia das principais características dessas alvenarias, registam-se as anomalias mais frequentes e as principais soluções de reforço, onde o reboco armado se insere.

## 2.2. Principais características do suporte

Para um conhecimento aprofundado das construções de alvenaria de pedra, torna-se indispensável o conhecimento das diferentes tipologias e das suas características. A característica mais marcante destas paredes está relacionada com a sua heterogeneidade, verificada quer nos materiais utilizados, quer nas técnicas construtivas. As causas principais desta diversidade, prende-se com fatores territoriais (como disponibilidade de materiais e transporte dos mesmos), fatores económicos e temporais [6]. As paredes de edifícios antigos são correntemente classificadas segundo a função e o fim a que se destinam. Na tabela 2.1 é feita, de forma simplificada, essa mesma classificação e descrita a função que cada elemento desempenha.

Tabela 2.1 – Classificação das paredes de alvenaria segundo o fim a que se destinam [51]

Designação	Função
Paredes mestras: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interiores (frontais)</li> <li>• De fachada (frente e tardo)</li> <li>• Laterais (empenas, quando se prolonga até ao espigão do telhado)</li> </ul>	Paredes resistentes, interiores ou exteriores com grande espessura
Paredes divisórias ou de compartimentação	Dividem os espaços delimitados pelas paredes mestras

Apesar da divisão efetuada na tabela anterior, é importante ter em atenção que nestas construções todas as paredes desempenham funções estruturais e influenciam as condições de habitabilidade e durabilidade. Deste modo torna-se indispensável identificar o que separa as paredes resistentes das paredes divisórias. Nos pontos seguintes referem-se as suas principais características [51].

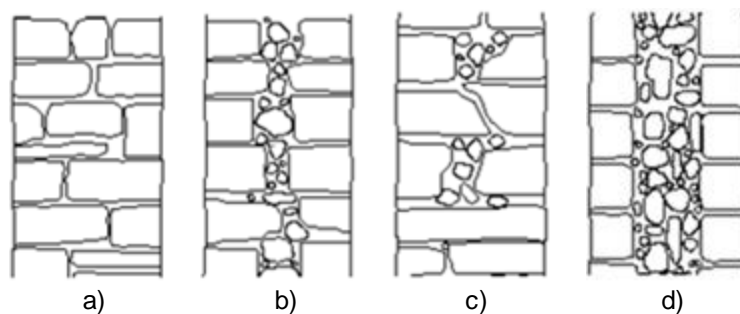
### 2.2.1. Paredes resistentes

As paredes resistentes, também designadas por paredes mestras, têm um papel fundamental na estabilidade do edifício para as solicitações verticais (gravíticas) e para as ações horizontais de natureza aleatória (vento e sismo). Têm como principal característica a sua elevada espessura (valores entre os 0,50 e 1,50 m) e constituição heterogênea de materiais, dando origem a elementos de alvenaria muito pesados. Em termos de resistência mecânica, a sua capacidade de resistir a ações de tração e flexão é muito baixa ou quase nula, apresentam boa capacidade de resistência a esforços de compressão e menor a esforços de corte [6].

Estas paredes apresentam soluções construtivas em que a secção transversal pode ser de uma, duas ou três folhas em alvenarias resistentes exteriores, fig. 2.1. As paredes, de uma folha, apresentam elementos dispostos de modo a que as extremidades fiquem sobrepostas. As soluções de duas folhas caracterizam-se por conter pedras cuja maior dimensão é inferior à espessura total da parede. Em construções de melhor qualidade utilizam-se perpianhos (pedras com comprimento igual à da espessura da parede) em diversos locais, evitando que cada pano de alvenaria se comporte de modo independente. As paredes de três folhas, por sua vez, apresentam um núcleo central mais pobre, formado por pedras ou outros materiais de menores dimensões, resultantes essencialmente das sobras da preparação das pedras maiores, utilizadas nas folhas exteriores [51, 52].

Do ponto de vista morfológico, as paredes de múltiplas folhas apresentam grande irregularidade, com vazios no núcleo central, sendo bastante suscetíveis a roturas frágeis, resultantes da separação das camadas e consequente perda de material. Tal acontece quando estas são sujeitas a cargas verticais e/ou horizontais elevadas [6, 51].





a) Um pano; b) Dois panos sem ligação; c) Dois panos com ligação; d) Três panos com núcleo de fraca qualidade.

Figura 2.1 – Representação esquemática de secções transversais [43]

Para além das propriedades mecânicas, a grande espessura das paredes resistentes exteriores contribui também para a proteção do interior das construções em relação às ações dos agentes atmosféricos, dos quais se destacam as variações de temperatura, o vento e a água da chuva.

A técnica construtiva em Portugal sofreu, naturalmente, variações ao longo dos anos, sobretudo após o grande terramoto de 1755 que dizimou toda a Baixa de Lisboa. Tal acontecimento despertou consciências para o problema dos sismos e, decorrente disso, surgiu a denominada construção pombalina. Esta construção caracteriza-se pela existência de paredes resistentes espessas, reforçadas por uma armadura de madeira constituída por um conjunto de peças verticais, horizontais e inclinadas, devidamente interligadas, formando as “cruzes de Santo André”, fig. 2.2. A solução apresentava excelentes características funcionais e estruturais, designadamente em relação ao comportamento sísmico [6, 51].



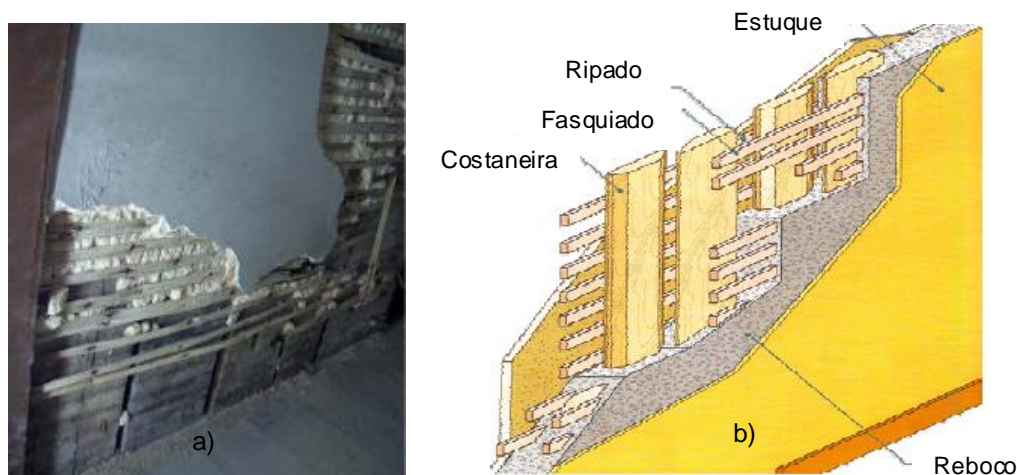
Figura 2.2 – Frontal Pombalino com alguns dos painéis de alvenaria originais [5]

A partir da segunda metade do século XIX, esta solução construtiva foi abandonada, principalmente devido ao esquecimento da catástrofe e, como consequência disso, a qualidade das construções decresceu substancialmente. Os novos edifícios apresentavam paredes de alvenaria bastante mais esbeltas, o que tornava a sua construção mais fácil de executar e, naturalmente, mais rápida e económica. A consequência direta dessa nova solução construtiva foi a diminuição drástica do contraventamento em relação às construções pombalinas [6, 51].

### 2.2.2. Paredes divisórias

Nos edifícios antigos todas as paredes desempenham funções estruturais importantes, incluindo as paredes divisórias, uma vez que a organização dos espaços e as limitações dos materiais utilizados, fazem com que se mobilize a capacidade resistente da generalidade das paredes. Apesar destas não receberem cargas verticais diretamente, contribuem de forma bastante significativa para o travamento geral da estrutura devido à ligação com os outros elementos: pavimentos e coberturas.

A interligação dos elementos construtivos é importante para a capacidade resistente global de um edifício como, por exemplo, na ocorrência de um sismo, visto que contribui para a dissipação de energia. Por outro lado, deve ter-se presente que estas paredes estão sujeitas a um acréscimo de solicitações ao longo do tempo, tanto devido ao envelhecimento e fluência dos materiais, como aos movimentos de fundações ou ações ocasionais, tais como sismos ou mesmo aumento de sobrecargas. Este aumento é suportado porque há uma alteração do equilíbrio estático [6, 51].



a) Exemplo de uma parede divisória em tabique [59]; b) Esquema da estrutura interna do tabique [6]

Figura 2.3 – Exemplo de uma parede divisória em tabique

### 2.3. Registo de anomalias

Na sequência da análise feita às paredes de alvenaria de pedra irregular, faz-se agora uma descrição, que não se pretende exaustiva, das suas anomalias mais frequentes.

Existem diversas formas de abordar as anomalias presentes em edifícios antigos, centrando-se nos elementos construtivos ou partindo das causas diretas ou indiretas, qualquer uma delas, no entanto, corre o risco de estar incompleta, pois existirão combinações de anomalias e respetivas causas que impossibilitarão uma classificação rigorosa.

Antes de mais, é importante referir que a principal causa das anomalias presentes nestes edifícios é natural e resulta do envelhecimento inevitável dos materiais. Muitas delas datam dos séculos XVIII e XIX e caso não fossem sujeitas a manutenções periódicas, de modo a assegurar a sua conservação, certamente que um número elevado destes edifícios estaria já obsoleto [6].

De forma a facilitar a leitura e a apreensão destes problemas apresenta-se, de seguida, as principais anomalias verificadas nas construções em estudo:

- Fendilhação
- Desagregação
- Esmagamento

### 2.3.1. Fendilhação

A fendilhação em paredes está associada a ações que geram esforços de tração e flexão que, como já foi descrito anteriormente, são solicitações a que as paredes de alvenaria de pedra não têm capacidade para resistir. Esta patologia é das mais comuns observadas nas paredes em estudo e ocorre tanto em zonas correntes, como junto aos cantos de portas e janelas ou ainda na ligação entre panos de alvenaria ortogonais, fig. 2.4. Em geral, as aberturas de portas e janelas são pontos fracos das paredes, pois nos cantos localizam-se elevadas concentrações de tensões. Por isso, em construções de melhor qualidade, era tido em conta este facto e, no contorno das aberturas, colocavam-se pedras talhadas de grandes dimensões ou arcos de tijolo maciço de forma a aumentar a capacidade resistente nesses locais [51].



Figura 2.4 – Exemplo de fendilhação entre panos de alvenaria ortogonais [8]

As causas para a fendilhação destas paredes prendem-se também com os movimentos de assentamentos diferenciais das fundações. As fendas apresentam inclinações características que permitem identificar as zonas críticas onde os movimentos são mais acentuados. As ações sísmicas são também causadoras de fenómenos de fendilhação, pois produzem esforços de corte elevados conduzindo à formação de fendas inclinadas cruzadas a 45°, aproximadamente [10].

A forma como esta patologia progride depende essencialmente da constituição e qualidade das próprias alvenarias, como por exemplo a inexistência de perpianos, torna-se muito mais suscetível ao aparecimento de fendilhação vertical e, por conseguinte, originar abaulamentos quando exposta a compressões elevadas. Estes abaulamentos são ainda agravados pela presença de água que, ao infiltrar-se, arrasta consigo finos da argamassa de assentamento e contribui também para a degradação crescente da parede [6, 51].

### 2.3.2. Desagregação

A desagregação é uma anomalia muito comum nas paredes resistentes dos edifícios antigos que resulta, normalmente, da progressão e do agravamento da fendilhação já existente. Este fenómeno deve-se, frequentemente, à ação dos agentes climáticos, combinando ciclos de calor e de frio, que originam expansões e contrações, respetivamente, nos materiais. O efeito do vento, que transporta poeiras e areias, contribui também de forma decisiva para a deterioração dos revestimentos exteriores das paredes. Estas ações, associadas ou não aos efeitos nefastos da poluição, são responsáveis pelo desgaste superficial das paredes não sendo, particularmente, um problema grave se forem tomadas medidas de correção, reparação ou substituição das pedras e revestimento dos locais afetados [6, 51].

Outros fatores podem também contribuir para a desagregação tais como, água proveniente das chuvas ou de infiltrações de origens variadas e humidade do terreno que ascende pelas paredes por capilaridade. Mais uma vez estes fatores, associados ou não aos efeitos da poluição, tornam-se particularmente graves para a estabilidade local e, caso não se tomem medidas de conservação podem mesmo afetar a estabilidade global dos edifícios [9, 28, 51].



a) Exemplo em Santiago do Cacém [51]; Exemplo em Santarém

Figura 2.5 – Exemplo de desagregação de construções em alvenaria

As paredes situadas ao nível do rés-do-chão apresentam maior frequência desta deterioração devido à exposição a ações mecânicas resultantes de choques ou vandalismo. A água do terreno que ascende por capilaridade contém, normalmente, sais solúveis que dão origem a dois fenómenos: quando se depositam na superfície das paredes à medida que a água vai evaporando, designa-se por efflorescências, quando cristalizam no interior das paredes, sofrem um aumento de volume introduzindo esforços mecânicos que originam desagregação, designa-se por criptoflorescências. Esta forma de desagregação é facilmente identificável nas paredes pelo aparecimento duma linha horizontal que define o local onde se dá o equilíbrio entre a capilaridade e a capacidade de evaporação [9, 28].



### 2.3.3. Esmagamento

O esmagamento é uma situação menos frequente que a anomalia analisada anteriormente. Verifica-se que ocorre em zonas localizadas e tem como causa a aplicação de cargas concentradas excessivas como, por exemplo, a descarga de vigas em paredes ou cargas aplicadas que excedem, em muito, o previsto, fig. 2.6.

Em construções de boa qualidade é comum verificar que nos locais onde se verificam concentrações de cargas, caso das vigas de pavimento ou asnas de coberturas, se utilizaram elementos de reforço como pedras de boa qualidade e boa resistência colocadas, com a face superior aparelhada, de modo a garantir uma transmissão das cargas para as paredes reduzindo, assim, as tensões existentes e evitando possíveis esmagamentos locais. Uma outra situação que importa referir é o caso das vigas de madeira em contacto com a alvenaria que sofriam processos normais de secagem depois da sua colocação, originando torções nas vigas e, conseqüentemente, compressões muito elevadas nos pontos de apoio [6].

Nos dias de hoje é relativamente vulgar encontrar esmagamento de paredes de pisos inferiores, coincidindo com zonas de descarga de vigas metálicas colocadas para substituir paredes divisórias, retiradas em remodelações recentes, onde não foram considerados aspetos estruturais, por desconhecimento e/ou de respeito das razões para a existência dessas paredes, alterando assim o equilíbrio estático estabelecido na conceção inicial [6, 51].

Outra situação onde fenómenos de esmagamento são verificados prende-se com a construção de edifícios novos com cave, adjacentes a construções antigas, onde a execução das ancoragens com tensões excessivas provocam pressões ascendentes nos solos que, conseqüentemente, são transmitidos às fundações dos edifícios antigos provocando, naturalmente, esmagamentos nas paredes ao nível do primeiro piso. No caso das paredes de pedra reforçadas com estrutura de madeira no seu interior, presente nos edifícios pombalinos, por exemplo, verifica-se o apodrecimento por ataques de fungos, ou a sua destruição por ação dos carunchos, estas degradações estão geralmente ligadas à presença de água em contacto esporádico com a madeira [6, 51].



Figura 2.6 – Exemplo de apoio de viga de madeira sobre parede de alvenaria de pedra [43]

---

## 2.4. Condicionalismos de intervenção

A intervenção em edifícios antigos pode realizar-se a diversos níveis, dependendo sempre dos pressupostos e condicionalismos presentes em cada caso.

Antes de mais deve destacar-se a importância das ações de conservação, de forma a prolongar o tempo de vida útil de uma dada edificação, impondo que os edifícios sejam sujeitos a operações regulares de manutenção onde se inclui a limpeza, pequenas reparações e pinturas. Os processos preventivos serão sempre o melhor caminho, quer do ponto de vista da habitabilidade, quer do ponto de vista económico, para evitar futuras anomalias e, como tal, deverão ser incentivadas [6].

A reabilitação de um edifício subentende a resolução das anomalias construtivas, bem como uma melhoria no desempenho do edifício. Num projeto de reabilitação podem distinguir-se dois tipos de ações: ações de reparação/consolidação e ações de reforço [27].

A reparação entende-se como um conjunto de operações destinadas a corrigir anomalias existentes, de forma a manter a edificação no estado em que se encontrava antes da ocorrência das anomalias. A consolidação, por outro lado, é um termo usado para traduzir a ideia de reparação no sentido da manutenção da integridade estrutural [6, 27].

A existência de ações de reforço está, normalmente, associada à necessidade de alterar as características de um determinado edifício. Tem como objetivo melhorar a capacidade resistente de paredes e fundações, corrigir anomalias detetadas e melhorar o comportamento a ações dinâmicas (sismos, vento, vibrações induzidas, etc.) [27].

No que diz respeito aos condicionalismos das intervenções a efetuar num edifício antigo é necessário ter em conta aspetos como: características específicas das soluções construtivas originais ou garantir a máxima compatibilidade física, mecânica e química entre os materiais existentes e os novos a aplicar. É preciso ter também em conta a impossibilidade de recorrer a técnicas tradicionais frequentemente, quer por falta de materiais idênticos, quer por falta de mão-de-obra qualificada na aplicação dos processos originalmente utilizados ou mesmo devido a razões económicas.

Há ainda a questão da reversibilidade das soluções a considerar, nomeadamente quando se trata de uma intervenção a um edifício com valor histórico. Nesse caso, existe a necessidade de efetuar uma escolha adequada aos objetivos da intervenção, sendo possível, dentro de certos limites, retroceder na intervenção, recolocando o edifício numa posição de novo próxima do ponto de partida [6].

## 2.5. Técnicas de reforço de paredes de edifícios antigos

Atualmente, de entre as várias técnicas de reforço estrutural e consolidação em parede de edifícios antigos, distinguem-se as técnicas tradicionais onde se utilizam materiais e processos de construção semelhantes aos originais e as técnicas modernas ou inovadoras, que procuram adequar soluções mais eficientes que as tradicionais utilizando materiais e equipamentos recentes [52].

Pode ainda ser feita uma distinção quanto aos efeitos, onde se destacam as técnicas de reforço passivo que funcionam apenas para cargas superiores às correspondentes ao estado de equilíbrio,

em que a estrutura se encontra. Existem também as técnicas de reforço ativas que pressupõem uma modificação das condições de carga com reação imediata da estrutura, registrando uma alteração do estado de equilíbrio e deformabilidade [52].

As várias técnicas de intervenção podem também ser caracterizadas em função do nível de reforço, ou seja, o nível de intervenção poderá ter realizado de uma forma global a toda a construção ou apenas ao nível do elemento estrutural (parede resistente, cobertura, etc.) [34].

As principais técnicas de consolidação e reforço utilizadas em intervenções a paredes de edifícios antigos são:

- Desmonte e reconstrução
- Refechamento de juntas
- Reboco armado
- Confinamento transversal de paredes
- Injeção de caldas
- Cintagem global do edifício
- Elementos de material compósito
- Encamisamento
- Pré-esforço vertical
- Outras soluções

### **2.5.1. Desmonte e reconstrução**

Esta técnica de consolidação em que se recorre a tecnologias tradicionais tem bastante interesse na reabilitação do edificado em risco uma vez que os problemas de compatibilidade entre o novo e o existente serão bastante menores, em comparação com os processos já descritos no presente trabalho [6, 52].

A aplicação deste método consiste na remoção do material constituinte da parede na zona degradada, e na reconstrução dessa mesma zona usando, se possível, os elementos removidos de outro local, semelhantes aos originais. O processo é trabalhoso mas bastante eficaz uma vez que, em termos estruturais, não se colocam grandes problemas. Apenas na altura do desmonte dos elementos estruturais (pedras), em alguns casos, há necessidade de escoramento prévio que substitua temporariamente o elemento em reconstrução [6, 11, 52].

### **2.5.2. Refechamento de juntas**

O refechamento de juntas tem como finalidade devolver às paredes de alvenaria de pedra características que, com o passar dos anos, se foram perdendo. Trata-se de um processo que pode ser efetuado em ambos os lados da alvenaria e tem como objetivo repor a estanquidade à água,

---

melhorar a ligação dos diversos elementos constituintes (pedras e argamassa) e também potenciar aumento natural de resistência à compressão, resultante da melhor ligação de elementos, fig. 2.7. A escolha da argamassa, tal como nas outras técnicas já identificadas, deve ser alvo de uma escolha criteriosa baseada na finalidade da intervenção e nas condições de compatibilidade [52, 60].

Em função da geometria das juntas verificam-se algumas variantes desta técnica como é o caso do refechamento de juntas complementado com armaduras de reforço e o refechamento de juntas com camada de resina orgânica e armadura de materiais compósitos ou barras de Fiber Reinforced Polymer (FRP) ou aço inoxidável. Importa destacar que estas soluções são aplicáveis apenas em paredes com juntas regulares [11, 52, 60].



Figura 2.7 – Exemplo de execução dos trabalhos de refechamento de juntas [60]

### 2.5.3. Reboco armado

O reboco armado corresponde a uma das técnicas de reforço de paredes de alvenaria tradicional mais utilizadas atualmente. Sendo o objeto de estudo principal da dissertação, desenvolve-se em pormenor na secção seguinte referindo-se as principais características e técnicas de aplicação.

Esta solução é indicada para estruturas de alvenaria que careçam de proteção anti-sísmica e de melhores propriedades mecânicas, e que também exibam degradação superficial ou fendilhação. Consiste na aplicação de uma camada de reboco, conjuntamente com materiais de reforço nos paramentos da parede. Usualmente utiliza-se a rede de aço electrossoldada ou de metal distendido (fig. 2.8), redes poliméricas e redes de fibra de vidro, que são fixas à parede através de pequenas pregagens, conectores metálicos ou fixadores, garantindo desta forma um melhor confinamento da alvenaria. Os rebocos armados permitem o aumento da ductilidade (capacidade de deformação), uma melhoria da resistência superficial à tração e ao corte das paredes, tal como o controle da fendilhação.

As desvantagens desta solução prendem-se com as possíveis alterações a nível estético e com o facto, do reforço exterior normalmente não verificar o princípio da reversibilidade, visto que a sua remoção da parede provoca danos superficiais no paramento [37, 52, 57, 58].





Figura 2.8 – Exemplo de um reboco armado com rede metálica

#### 2.5.4. Confinamento transversal de paredes

O confinamento transversal é uma técnica desenvolvida especificamente para o reforço de alvenarias e que tenta tirar partido do material existente, sendo uma solução de reforço passivo. Destina-se, em primeiro lugar a alterar, local ou generalizadamente, as características mecânicas do próprio material, através da introdução de elementos que permitem explorar uma capacidade de resistência à tração que as paredes de alvenaria de pedra não têm. A utilização deste método consiste na colocação de elementos metálicos, com tratamento anti-corrosivo, em furos previamente abertos, que atravessam os locais a reforçar [52].

Os furos são efetuados com equipamento adequado em função do elemento a reforçar, bem como da dimensão e do comprimento dos mesmos, tendo distribuição e direção dependentes da extensão dos danos e do objetivo pretendido.

Podem identificar-se os elementos aplicados em função do seu comprimento: no caso de apresentarem comprimento igual à espessura da parede, designam-se de conectores. No caso de o comprimento ser inferior à espessura da parede, designam-se por pregagens.

Na selagem dos furos são usadas caldas de injeção, compatíveis com o material presente na alvenaria, de forma a colmatar os vazios deixados. Posteriormente, são feitas as ancoragens com o auxílio de chapas metálicas e porcas de aperto colocadas nas extremidades dos conectores e das pregagens, de forma a criar o confinamento pretendido na alvenaria [15, 52].

De seguida referem-se os diferentes métodos de aplicação em função do comprimento, local e direção das pregagens/conectores:

##### Conectores

A colocação de conectores é apropriada em paredes de alvenaria de panos múltiplos com deficiente interligação, é de especial importância em locais onde há necessidade de reduzir uma possível instabilidade por ação de cargas verticais evitando, deste modo, o aparecimento de abaulamentos. Trata-se, por isso, de um confinamento pontual, com elementos metálicos, introduzidos em furos

previamente abertos na direção transversal ao plano da alvenaria e, posteriormente, fixos através de placas de ancoragem em aço e devidamente selados com caldas de injeção, fig. 2.9.

Tal como nos casos anteriores, trata-se de uma solução invasiva e irreversível, na medida em que se destrói parcialmente o material existente na zona de execução dos furos. Ainda assim, garante uma redução das possibilidades de instabilização e um controlo eficaz da dilatação transversal da parede por ação de cargas verticais [13, 24, 52].

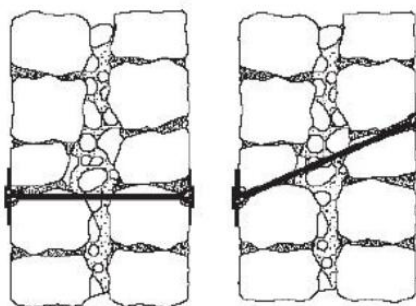


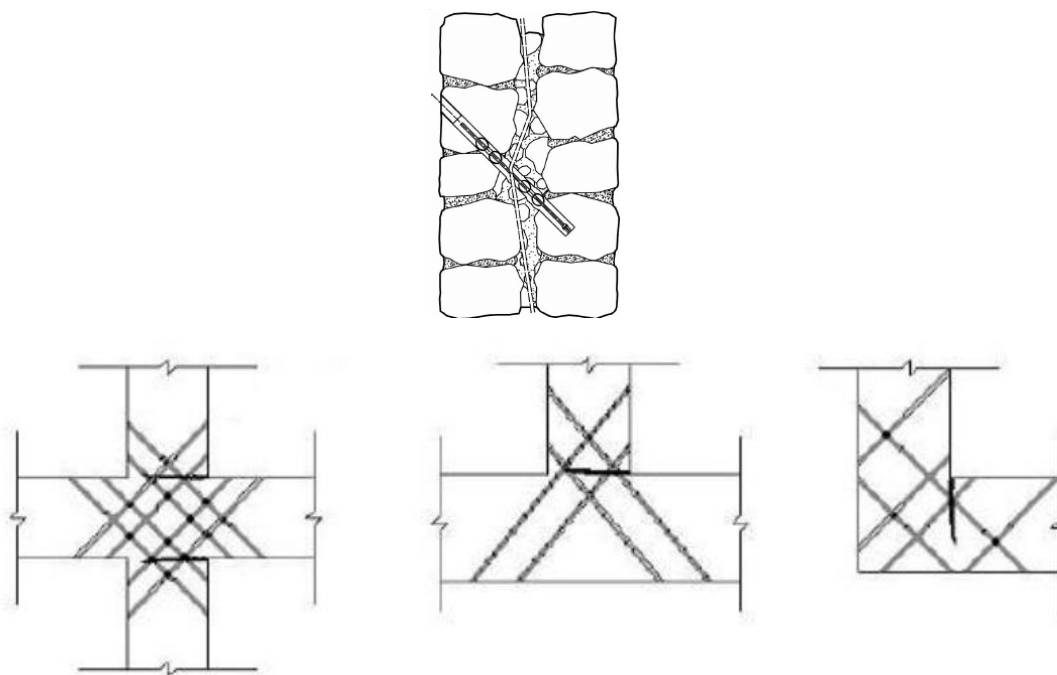
Figura 2.9 – Esquema de um conector de confinamento (secção transversal) [13]

### Pregagens

Trata-se de uma solução utilizada para o reforço de paredes de panos múltiplos, tendo como objetivo confinar e promover a ligação entre os vários panos. Para tal, são introduzidos transversalmente à parede e em furos previamente executados, elementos metálicos com tratamento anti-corrosão juntamente com dispositivos de ancoragem nas extremidades, que permitem a amarração, fig. 2.10. Os furos devem ser realizados nas juntas, evitando-se a perfuração das unidades de pedra, o que é difícil devido à heterogeneidade da alvenaria, ou à falta de correspondência das juntas nas diferentes faces da parede [13].

As pregagens costura, são um caso particular desta técnica de reforço. Têm como principal objetivo assegurar uma melhor ligação entre paredes ortogonais. São constituídas, normalmente, por tirantes de aço curtos, com a devida proteção anti-corrosão, e podem apresentar comprimentos maiores na ligação em cunhal de paredes ou em locais onde é necessário atingir vãos de janelas ou portas. Os sistemas utilizados recentemente são constituídos por varões de aço inoxidável inseridos em mangas de tecido de algodão, onde é depositada a argamassa de enchimento, facilitando a adaptação às irregularidades dos furos e evitando desperdícios do material da calda de injeção.

Esta tecnologia tem como vantagem melhorar substancialmente a ligação entre elementos estruturais, no entanto, trata-se de uma solução bastante intrusiva, onde a degradação do material existente no local dos furos, é difícil de minimizar [38, 52].



Em cima – Representação esquemática de uma pregagem (corte transversal) [13], Em baixo – Representação esquemática de pregagens costura (planta) [38]

Figura 2.10 – Representação esquemática de pregagens

### Reticolo cementato

Esta solução de reforço consiste na introdução de um reticulado de barras de aço em furações executadas na parede e posteriormente injetadas com caldas de cimento, fig. 2.11. A malha tridimensional criada no interior da alvenaria conduz à melhoria das características mecânicas, uma vez que permite resistir a esforços de corte e tração, bem como aumentar a capacidade resistente a esforços de compressão.

Esta tecnologia tem a vantagem de ter proporcionado o desenvolvimento de equipamentos vocacionados para a furação da alvenaria em qualquer sentido. No entanto, o princípio de preservação ou degradação mínima das características do material existente não é respeitado.

Alguns aspetos menos positivos desta solução prendem-se com aspetos económicos, uma vez que se trata de uma opção bastante dispendiosa, muito intrusiva e de difícil execução, fazendo sentido a sua aplicação em paredes com grandes espessuras (superiores a 50 cm) [38, 52].



Figura 2.11 – Representação esquemática do Reticolo cementato (secção transversal) [6]

---

### 2.5.5. Injeção de caldas

A injeção de caldas é uma técnica de consolidação de paredes resistentes de alvenaria de pedra, e surge da necessidade de melhoria das características do material constituinte. Os materiais de injeção utilizados são, habitualmente, caldas de cimento estabilizadas por bentonite ou cal, caldas de cimento especiais, caldas de silicatos de potássio ou de sódio e resinas epoxídicas.

A aplicação desta técnica requer uma profunda avaliação das paredes em que se pretende intervir, com o objetivo de identificar se a injeção é adequada e qual a composição da calda que melhor se adapte às características do material existente.

As injeções podem ainda ser realizadas com o objetivo de melhorar as características intrínsecas da alvenaria e são aconselhadas em alvenarias mal argamassadas ou naquelas em que tenha ocorrido perda de material aglutinante preenchendo, deste modo, os vazios e fendas da alvenaria, homogeneizando toda a secção e promovendo a ligação das camadas externas e internas.

A eficácia deste método de consolidação depende em muito da interligação entre os vazios presentes no interior da alvenaria. A existência de uma boa ligação entre eles garante que a calda consegue alcançar mais zonas da parede, pelo que deverão ser realizados ensaios prévios que permitam caracterizar a resistência e a permeabilidade da alvenaria.

Podem enumerar-se como principais vantagens desta técnica a preservação do aspeto visual do edifício pois, sendo uma intervenção passiva, não altera o equilíbrio de forças na alvenaria e atua no principal problema deste tipo de construção, a falta de heterogeneidade.

Como inconvenientes, tem-se a dificuldade de penetração das caldas que depende da permeabilidade das alvenarias, muito difícil de estimar, a correta escolha do material a utilizar nas caldas de modo a adequar-se ao suporte e ainda a irreversibilidade da técnica.

No que diz respeito aos processos de aplicação das caldas, podem diferenciar-se os seguintes tipos utilizados em função da alvenaria e capacidade resistente [1, 6, 32, 52]:

- Injeção por gravidade
- Injeção sob pressão
- Injeção por vácuo

#### **Injeção por gravidade**

Destina-se a paredes com um grau de degradação elevado; as caldas são injetadas nas fissuras ou cavidades através de tubos colocados no topo das paredes [1, 32].

#### **Injeção sob pressão**

Utiliza-se em alvenarias, mesmo as mais degradadas, mas que disponham de capacidade para suportar a pressão das injeções, começando com pressões muito baixas e corrigindo iterativamente de modo a preencher o máximo de vazios possível. A calda é injetada através de tubos introduzidos nas fendas ou com o auxílio de seringas. Deve ainda ser feita uma pré-abordagem à distribuição e número de furos prevenindo, assim, instabilidades estruturais, fig. 2.12.

Maria Valluzzi e Elizabeth Vintzileou, recorreram a vários trabalhos experimentais com o objetivo de avaliar a influência desta técnica no aumento de resistência mecânica. Os resultados obtidos, utilizando ensaios de ultra-sons por exemplo, demonstraram de forma clara que, as secções dos muretes passaram a ser muito mais homogêneas, com implicações imediatas no aumento de resistência a esforços de compressão, tração e até mesmo um aumento no módulo de elasticidade [60, 61, 66].



Figura 2.12 – Injeção de caldas sob pressão num modelo de alvenaria de pedra irregular [1]

### Injeção por vácuo

A injeção é feita pelos tubos inferiores enquanto ocorre a aspiração do ar nos tubos superiores, permitindo, assim, que as caldas se desloquem de baixo para cima. É frequentemente utilizado no reforço de pequenos elementos arquitetónicos ou elementos removíveis, pináculos ou estátuas. Pressupõe a utilização de caldas bastante fluidas [1, 32].

### 2.5.6. Cintagem global do edifício

Este método aplica-se a edifícios com fracas ligações entre os elementos, nomeadamente paredes e pavimentos, ou coberturas. O principal objetivo prende-se com a melhoria da resistência da estrutura global e do comportamento sísmico das paredes, promovendo uma ligação efetiva entre as paredes ortogonais.

A cintagem consiste na colocação de cintas no contorno dos edifícios, muitas vezes pelo exterior dos mesmos, alterando o aspeto original destes. Pela necessidade de se proceder à furação da alvenaria para a colocação de chapas de aço ou outros elementos, a técnica torna-se parcialmente intrusiva. No entanto, a aplicação desta solução não introduz aumentos significativos de massa nem esforços na estrutura, uma vez que se trata de uma solução de reforço passiva, e é uma técnica parcialmente reversível [24, 59].

---

### 2.5.7. Elementos de material compósito

Esta técnica de reforço com elementos de material compósito tem sido alvo de investigação no sentido de avaliar o potencial dos compósitos *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) em estruturas de alvenaria de pedra. Os materiais mais utilizados são distinguidos de acordo com o tipo de fibras, fibras de vidro (GFRP), fibras de carbono (CFRP) e fibras de aramida (AFRP).

No que diz respeito à constituição são, geralmente, formados por uma matriz de resina de elevado desempenho reforçada com os tipos de fibras já referidos. Esta matriz aglutina as fibras, providencia proteção química e é também responsável por conferir resistência mecânica [52, 33].

Tal solução foi alvo de diversos estudos cujas conclusões foram comuns a todos eles, verifica-se elevada resistência mecânica, flexão e compressão, apresenta bom comportamento à fadiga e a ações cíclicas e apresenta também um ótimo comportamento sísmico no ensaio pós reparação. A aplicabilidade é condicionada pela dificuldade da aderência das fibras às paredes devido à sua irregularidade superficial, registando-se inconvenientes associados à mobilização da aderência, nomeadamente a reduzida durabilidade [11, 17].



Figura 2.13 – Exemplo de um painel de alvenaria reforçado com FRP [11]

### 2.5.8. Encamisamento

O encamisamento é uma técnica de reforço passivo que se destina a intervir ao nível do elemento estrutural e não ao nível global da construção. Caracteriza-se pela aplicação de uma camada de betão, em um ou ambos os lados da alvenaria, com espessura de aproximadamente 10 cm e reforço com malha de aço fixa à parede através de pregagens ou conectores, fig. 2.14 [52].

Com a aplicação desta solução de reforço obtém-se um revestimento de maior espessura que um reboco convencional. A parede de alvenaria, alvo de intervenção, adquire características mecânicas bastantes superiores, aumentando a sua resistência á compressão e, sobretudo, aumentando a resistência a esforços de corte. Este processo é apropriado no reforço de alvenarias “pobres” e bastante degradadas, muito irregulares, contendo argamassas muito deterioradas e fraca ligação entre materiais. Trata-se de uma técnica de carácter irreversível [46].



A eficácia deste método está bastante dependente da ação de confinamento que é induzido pelas novas camadas de betão armado envolventes à parede de alvenaria original, por isso é de extrema importância garantir uma correta ação de pregagem [52].



Figura 2.14 – Exemplo da utilização do encamisamento como solução de reforço

### 2.5.9. Pré-esforço vertical

O pré-esforço vertical é uma técnica de reforço que consiste, essencialmente, na colocação de tirantes de aço de alta resistência traccionados alterando, deste modo, o sistema de forças interno da alvenaria. Com a utilização destes tirantes beneficia-se a capacidade resistente, nomeadamente a resistência ao corte que aumenta devido às compressões instaladas nas secções evitando problemas de fendilhação da alvenaria. Por outro lado, as alterações verificadas nas condições de equilíbrio da estrutura, modificam o estado de tensões na alvenaria, podendo provocar efeitos indesejáveis geradores, eles mesmos, de anomalias. Por isso, a aplicação de pré-esforço em alvenarias de pedra, deve ser alvo de um projeto cuidadosamente elaborado tendo em atenção as características da alvenaria que se pretende reforçar [6, 52].

### 2.5.10. Outras soluções

Uma solução frequentemente utilizada é reconstrução integral do interior de um edifício, preservando-se todas as paredes exteriores ou apenas a fachada principal, fig. 2.15. Consiste em demolir o interior do edifício executando-se uma nova estrutura com recurso a materiais e técnicas utilizadas correntemente, como o betão armado e elementos metálicos.

É uma técnica muito intrusiva e que requer alguns cuidados de projeto, no que respeita à interação entre a estrutura de betão armado e a alvenaria, de modo a não condicionar o comportamento global de todo o edifício [6].



Figura 2.15 – Manutenção da fachada e demolição do interior

## 2.6. Reboco armado – caracterização pormenorizada

Finalizada a listagem das soluções de reforço mais utilizadas em edifícios antigos (secção anterior), apresenta-se nesta secção a temática que é objeto de estudo desta dissertação. O reboco armado constitui uma das soluções de reforço de edifícios antigos mais usuais que muito se têm desenvolvido com a experiência da sua utilização.

Trata-se de uma técnica de reforço que não introduz esforços nos elementos estruturais, podendo ser aplicada em diferentes níveis consoante o estado de degradação das paredes de alvenaria. A sua utilização pode ser feita tanto para aplicações locais em zonas fendilhadas, até situações extremas de construções em alvenaria muito degradadas onde se aplica o reboco armado de uma forma generalizada, envolvendo toda a construção [58].

Esta solução é indicada para estruturas de alvenaria que careçam de proteção anti-sísmica e de melhores propriedades mecânicas. A sua aplicação é especialmente indicada para paredes que, na generalidade, estão em bom estado mas possuem elevada degradação superficial podendo, no entanto, o reboco armado ser aplicado em conjunto com outras soluções de reforço no caso de alvenarias com avançado grau de degradação. É indicada a aplicação do reboco armado em paredes de alvenaria após serem confinadas transversalmente com conetores ou pregagens, e em paredes consolidadas anteriormente com injeção de caldas [52].

Esta técnica consiste na aplicação de uma camada de reboco, conjuntamente com materiais de reforço nos paramentos da parede. Os materiais poderão ser sintéticos, como a fibra de vidro e os polímeros, ou metálicos e a fixação à parede é feita através de pequenas pregagens, conectores metálicos ou fixadores garantindo, desta forma, um melhor confinamento da alvenaria [37, 57].

Os rebocos armados permitem o aumento da ductilidade (capacidade de dissipação de energia), uma melhoria da resistência superficial à tração e ao corte das paredes intervencionadas, tal como o controle da fendilhação. As desvantagens desta solução prendem-se com as alterações a nível estético e com o facto do reforço exterior, normalmente, não verificar o princípio da reversibilidade, visto que a sua remoção da parede provoca danos superficiais no paramento [58].

Para execução de um reboco armado num edifício antigo é necessário identificar todos os materiais e soluções possíveis. Visto ser uma técnica que combina essencialmente dois materiais, a argamassa



de revestimento e a armadura de reforço, torna-se imprescindível conhecer as soluções aplicáveis e quais as que se destinam a cada caso específico.

### 2.6.1. Argamassa de revestimento

Nas intervenções a edifícios antigos a primeira opção a considerar numa fase inicial deverá ser a conservação dos revestimentos existentes e, se necessário proceder a reparações pontuais ou, em casos excecionais, edifícios com valor histórico por exemplo, executar operações de reparação [62]. No entanto, a utilização de rebocos armados como solução de reforço de alvenarias antigas “obriga” à remoção total dos revestimentos originais [37].

Na seleção das novas argamassas a aplicar no suporte há a necessidade de realizar um estudo de compatibilidade prévio de auxílio à escolha das argamassas. Nesse estudo determina-se, para o uso específico do local a intervir, os requisitos funcionais e estéticos. Naturalmente, as argamassas a usar nos novos revestimentos devem ser adotadas em função das características do suporte, do tipo de edifício e respetiva época de construção, do clima da região, das condições ambientais a que está sujeito e do tipo de rede de reforço.

Existe atualmente uma escolha diversificada de argamassas para revestimentos, passíveis de serem utilizadas. As soluções mais frequentemente utilizadas enquadram-se nos seguintes tipos: argamassas de cimento, argamassas de cal hidráulica, argamassas bastardas de cal aérea e cimento, argamassas de cal aérea, argamassas de cal aérea aditivada com pozolanas, pé de tijolo e outros aditivos minerais, argamassas pré-doseadas [62].

As argamassas de cimento apresentam um aspeto final muito diferente das argamassas antigas, nomeadamente a textura da superfície e modo como a luz é refletida. Para além disso, contêm na sua composição sais solúveis que são transportados para o interior das paredes e lá cristalizam, contribuindo para a sua degradação, fig. 2.16. No que diz respeito à resistência mecânica, as argamassas de cimento apresentam uma rigidez excessiva bem como uma capacidade limitada em deixar secar as paredes [45, 62].



Figura 2.16 – Exemplos de revestimentos incompatíveis com o suporte [65]

---

As argamassas de cal aérea têm uma composição mais próxima às argamassas antigas por isso, apresentam, naturalmente, um aspeto estético compatível. No entanto, revelam problemas de durabilidade, principalmente quando expostas a ações atmosféricas: chuva e gelo. É frequente encontrar, hoje em dia, edifícios com revestimentos à base de cal com centenas e até mesmo milhares de anos, que apresentam uma resistência e coesão superiores a muitas argamassas atuais. Daí se conclui que não se domina ainda a tecnologia da cal como seria expectável e, por isso, não se obtêm resultados satisfatórios [45, 62].

O uso de argamassas intermédias entre os dois extremos anteriormente referidos, como as soluções de argamassas bastardas e recorrendo ao uso de aditivos, visam melhorar as características intrínsecas de cada tipo, evitando os inconvenientes [45, 62].

Finalmente, as argamassas pré-doseadas, também designadas de não-tradicionais, apresentam composições muito variadas e, por isso, têm características e comportamentos diversificados pelo que, quando utilizadas, deverão ser avaliadas em função do objetivo pretendido [45, 62].

### **2.6.2. Armadura de reforço**

Tradicionalmente são utilizadas como armadura as malhas de aço electrossoldado ou as malhas de aço distendido no entanto, com o desenvolvimento das armaduras sintéticas como as redes de fibras ou poliméricas, o leque de escolhas aumentou claramente permitindo, assim, efetuar a escolha da armadura de reforço em função dos aspetos de durabilidade, dimensão da malha, espessura de argamassa por unidade de superfície e resistência à tração pretendida.

Estes parâmetros são determinados pela natureza da argamassa, pelo que a opção por um tipo de rede é indissociável da escolha do tipo de argamassa. Atualmente dispõe-se de um leque alargado de opções de armaduras a utilizar no reforço de edifícios antigos [44]:

- Rede metálica
  - Aço
  
- Rede Sintética
  - Polimérica
  - Fibra de Vidro
  - Fibra de Carbono
  - Fibra de Basalto

#### **Rede de aço**

A utilização deste tipo de rede como armadura para os rebocos, nomeadamente para reforço de edifícios de alvenaria de pedra irregular, é a solução mais frequente. São utilizadas como armadura as malhas de aço electrossoldada ou de aço distendido, com varões de fino diâmetro. As armaduras metálicas devem ser de aço galvanizado ou de aço inoxidável para proteção contra a corrosão.

A ligação rede-suporte é feita, essencialmente, com recurso a buchas e fixadores metálicos e através de varões de aço inseridos na alvenaria, fig. 2.17. Os espaçamentos dos elementos de ancoragem são determinados em função da maleabilidade da rede utilizada: quanto mais maleável for a malha, menores serão os espaçamentos, quanto mais rígida, pelo contrário, maiores serão os espaçamentos utilizados [16].

O uso deste tipo armadura metálica não é compatível com a utilização de argamassas de cal aérea devido ao elevado risco de corrosão, com consequências graves na sua durabilidade. A aplicação deve ser feita em conjunto com argamassas de revestimento à base de cimento Portland [18, 26].



Em cima – Varão de aço para fixação da rede; Em baixo – Sistema de bucha mais fixador metálico

Figura 2.17 – Exemplos de sistemas de ancoragem das redes metálicas ao suporte

A utilização deste tipo de rede apresenta uma maior dificuldade de aplicação em comparação com o uso de redes sintéticas, devido ao peso superior das malhas metálicas. A dificuldade prende-se, essencialmente, com necessidade de garantir uma boa ligação rede-suporte.

Finalmente, é importante referir que, neste tipo de armaduras, a espessura do reboco é de extrema importância de modo a garantir um recobrimento uniforme da rede metálica evitando, assim, problemas de durabilidade a longo prazo [16].



Figura 2.18 – Exemplo de aplicação de um reforço com rede de aço distendido

### Rede polimérica – Sistema *Richtergard*

A utilização de reboco armado com rede polimérica foi estudada em pormenor por Ramiro Sofronie, na Universidade de Bucareste, Roménia. O reforço de paredes resistentes de alvenaria consiste na aplicação de uma rede polimérica rígida e de uma argamassa de reboco à base de cal, fig. 2.19. O desempenho do sistema resulta da interação entre a rede polimérica, com propriedades relevantes de dissipação de forças dinâmicas, e a alvenaria existente, através da argamassa. A instalação do sistema envolve ainda a utilização de peças auxiliares de montagem, para uma fixação adequada da rede na alvenaria, de forma a permitir a aplicação do reboco final [58, 31].



Figura 2.19 – Esquema de fixação da rede polimérica [58]

Uma das anomalias mais frequentes em construções antigas, como já foi referido, consiste na redução substancial das características mecânicas resistentes da alvenaria, em relação às forças verticais e horizontais. O sistema *Richtergard* proporciona um elevado nível de proteção anti-sísmica e versatilidade, sendo o sistema adaptável a qualquer configuração do edifício ou construção, sem alteração da sua geometria. Quando comparado com as alternativas existentes, este sistema tem uma maior rapidez de instalação e reduzida perturbação local durante a realização das intervenções de reforço [58].





a) Rede polimérica para reforço de alvenarias; b) Exemplo de aplicação da rede polimérica [58]

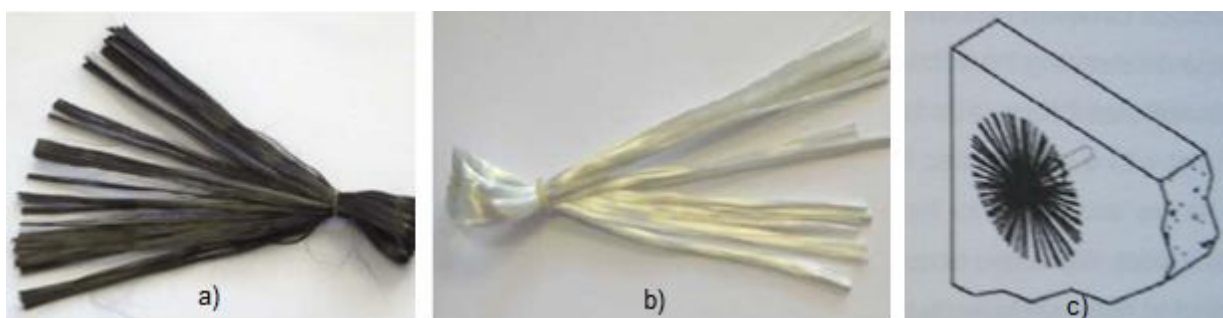
Figura 2.20 – Material e esquema de aplicação do sistema *Richtergard*

### Redes de fibras

Nas últimas décadas, os materiais sintéticos tiveram uma grande aceitação na indústria da construção. As vantagens comparativamente a outras soluções, são o baixo custo de instalação, a facilidade de transporte e manuseamento, aplicação relativamente rápida, boa resistência à corrosão e durabilidade. Em consequência destas características, surge com naturalidade a aplicação destes materiais em edifícios antigos, sendo este denominado de sistema TRM (*Textile reinforced mortar*).

O uso de fibras tem grande influência nas características dos compósitos e, para um reforço eficaz, têm respeitar alguns requisitos: alta tenacidade, um módulo de elasticidade muito superior ao da argamassa, resistência à fadiga, boa adesão entre a fibra e o ligante, e possibilidade de serem processadas num tear em forma de rede. As fibras mais utilizadas são a fibra de vidro, carbono e basalto [23].

No que diz respeito ao sistema de ancoragens das redes ao suporte, são simples, fáceis de instalar e de baixo custo. Consistem na utilização de um espigão de ancoragem do mesmo material utilizado na rede, inserido na parede e que, posteriormente, amarra a rede.



a) Exemplo de um espigão de ancoragem de fibra de basalto; b) Exemplo de um espigão de ancoragem de fibra de vidro; c) Representação esquemática da fixação do espigão ao suporte

Figura 2.21 – Representação do sistema de ancoragem do sistema TRM [23]

A fibra de vidro é o material mais utilizado no fabrico de redes para o sistema TRM. São utilizados essencialmente dois tipos de fibra de vidro: a fibra do tipo E que apresenta uma baixa resistência aos alcalis necessitando por isso de uma proteção final, normalmente revestimento em cloreto de polivinila (PVC). A fibra do tipo AR apresenta uma boa resistência aos alcalis e não necessita de nenhuma proteção extra no entanto, o custo é bastante superior, cerca do dobro da fibra do tipo E. Recorrendo a uma rede de reforço de fibra do tipo E é desaconselhada a utilização de uma argamassa de cimento Portland, pois os alcalis do cimento reduzem substancialmente a durabilidade da fibra. É aconselhada a sua aplicação em conjunto com uma argamassa de cal aérea ou bastarda, mas com pouca quantidade de cimento [18, 26].

Fernando Pinho na sua tese de doutoramento, utilizou rebocos armados com rede de fibra de vidro para reforçar muretes de alvenaria de pedra irregular. A solução de reforço consiste na utilização de fios de aço como conetores que atravessam toda a espessura de alvenaria e se prolongam na diagonal em furos contínuos sendo, posteriormente, complementada com recurso a um reboco armado. Esta solução resulta num aumento da capacidade resistente das alvenarias intervencionadas verificando-se, nomeadamente, um aumento da resistência a esforços de compressão e corte [48].

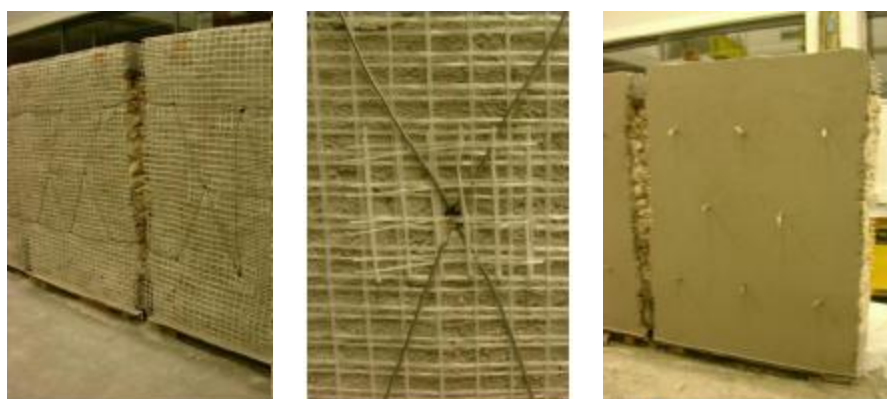


Figura 2.22 – Muretes reforçados com confinamento transversal contínuo [48]

O basalto é um material natural que se caracteriza pelo elevado ponto de fusão (1400°C) e por isso era utilizado na indústria, essencialmente na construção de moldes. A primeira tentativa de produzir filamentos contínuos das rochas de basalto foi realizada nos Estados Unidos da América, em 1923.

As fibras de basalto têm uma excelente resistência aos ataques químicos, nomeadamente contra os alcalis, as propriedades físicas são similares às das fibras de vidro e apresentam um custo muito inferior às fibras de carbono.

As principais características destas redes são a grande resistência térmica, pois a fibra de basalto é incombustível, apresentam uma tenacidade superior às redes de aço e um módulo de elasticidade mais elevado do que as redes de fibra de vidro. Apresentam ainda, a boa resistência à fadiga, característica típica deste material [23].

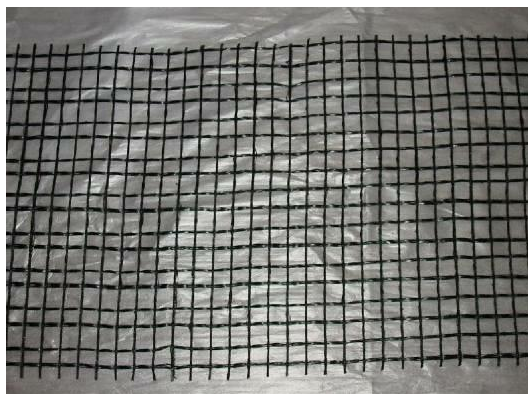


Figura 2.23 – Rede de fibras de basalto [23]

As redes de fibra de carbono apresentam propriedades físicas bastante superiores, comparando com os outros materiais referidos anteriormente. Com um módulo de elasticidade mais elevado que as redes de aço, grande resistência à tração e excelente comportamento à fadiga, as redes de fibra de carbono posicionam-se num patamar acima de todos os outros materiais para reforço de rebocos. No entanto, o alto custo deste material torna esta solução pouco atrativa. Num sistema TRM, quando o custo da rede é mais alto que o custo da argamassa, a solução deixa de ser aceitável [23].

Na tabela seguinte faz-se a comparação das características dos diferentes tipos de fibras utilizados no sistema TRM.

Tabela 2.2 – Resistência dos diferentes tipos de fibras do sistema TRM [23]

Material da rede	Resistência				
	Altas temperaturas	Radiação ultra violeta	Ambiente alcalino	Rotura	Fadiga
Fibra de carbono	+	++	++	++	++
Fibra de vidro do tipo E	-	+	--	-	-
Fibra de vidro do tipo AR	-	+	+	-	-
Fibra de basalto	++	++	++	+	+

Nível de desempenho: ++Bom, +Normal, - Baixo, --Mau

Tabela 2.3 – Algumas propriedades mecânicas e física dos materiais das armaduras de reforço

Material da rede	Propriedades mecânicas			Propriedade física
	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Peso (g/m <sup>2</sup> )
Aço	206	350-600	-	1000-3000
Polimérico	2,0	10	5,0-7,0	270
Fibra de Vidro	70-80	50-60	2,5-3,5	100-300
Fibra de Carbono	200-250	150-160	1,4-1,7	170
Fibra de Basalto	80-110	60-70	3,0-4,0	200

### 2.6.3. Técnicas de aplicação

A aplicação de um reboco armado requer, do ponto de vista da sua execução, cuidados que deverão ser tidos em conta. Uma correta execução das várias fases, nomeadamente a fixação da armadura ao suporte e a aplicação da argamassa de reboco, fará com que se obtenham os resultados pretendidos.

Numa primeira fase, como já foi referido anteriormente, devem remover-se os revestimentos antigos de forma a ter a superfície do suporte o mais plana possível. Definem-se os espaçamentos das ancoragens da rede à alvenaria em função da rigidez da armadura de reforço e realiza-se a furação do suporte, fig. 2.24.

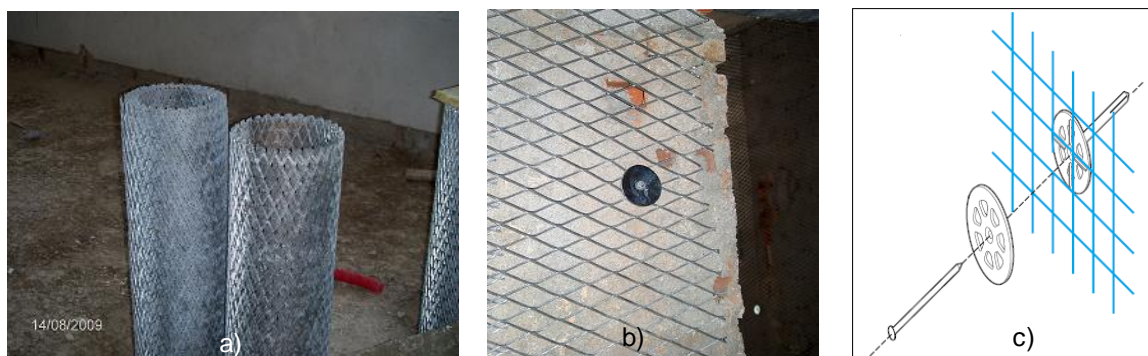


Figura 2.24 – Exemplo da marcação do local do sistema de ancoragem na parede

Após a furação da parede de alvenaria e colocadas as respetivas buchas, estão reunidas as condições para se efetuar a aplicação da rede. Esta é uma operação que deve ser realizada por dois operários, no mínimo, pois enquanto um estica a rede de baixo para cima o outro efetua a fixação.



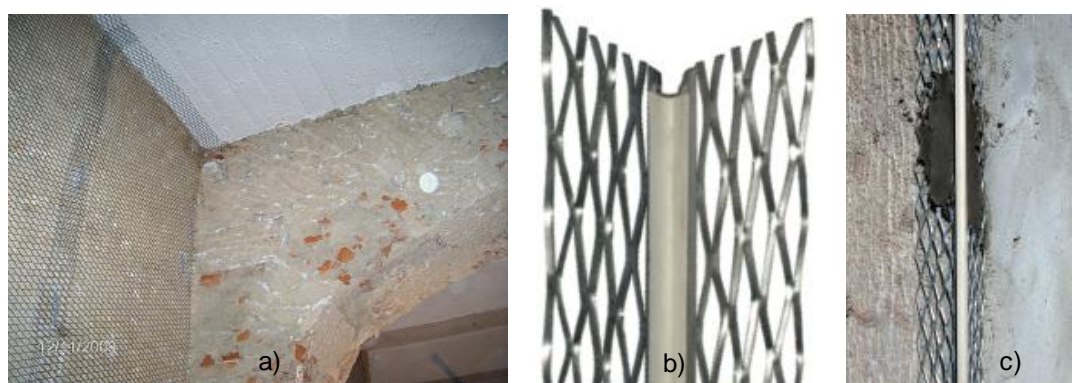
Importa referir que esta tarefa de fixação da rede ao suporte, nomeadamente garantido que a rede fica bem esticada, é de extrema importância pois a eficácia desta solução de reforço está dependente disso.



a) Exemplo de uma rede de reforço; b) Exemplo da rede já aplicada; c) Esquema de fixação da rede [68];

Figura 2.25 – Exemplo de aplicação de uma armadura de reforço

Na colocação da rede existem locais que requerem especial atenção, de modo a evitar grandes descontinuidades, como é caso das zonas entre fiadas consecutivas de rede, das ligações com pavimentos e tetos e das ligações entre paredes ortogonais. No primeiro caso, as fiadas consecutivas de rede devem ter uma zona de sobreposição de aproximadamente 20 cm, fig. 2.26 a). Nas ligações da zona corrente da alvenaria com pavimentos e tetos deve ser assegurada uma continuação da rede também com aproximadamente 20 cm. As ligações entre paredes ortogonais são locais problemáticos, em especial no caso de se utilizar redes muito rígidas, sendo essas zonas tratadas com peças próprias para esse fim.



a) Exemplo de ligação entre fiadas consecutivas de rede; b) e c) Exemplo de peças de ligação para cantos [69]

Figura 2.26 – Exemplo de locais com dificuldade especial de aplicação

Depois da rede bem fixa e posicionada, aplica-se finalmente o reboco. A argamassa de revestimento é aplicada em duas fases: a primeira corresponde a uma camada de enchimento e a segunda de regularização e acabamento. A aplicação é feita manualmente ou projetada seguida de aperto e nivelamento da argamassa fresca.

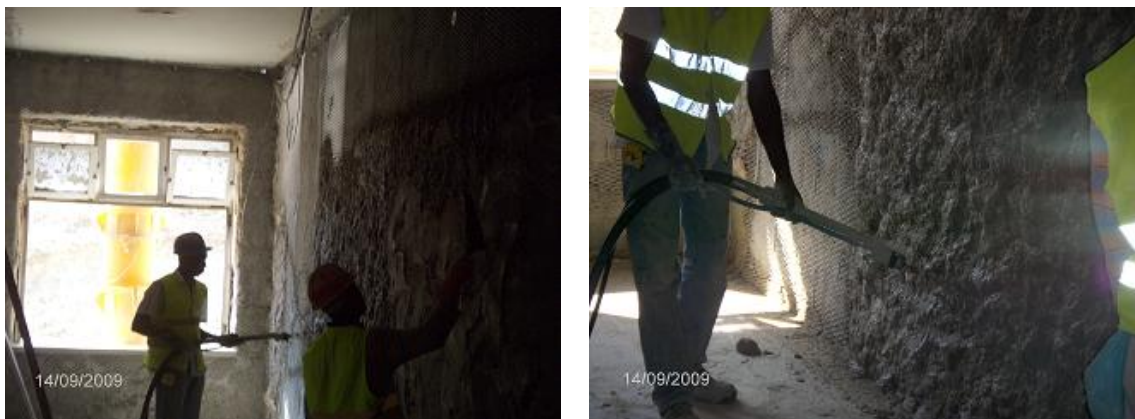
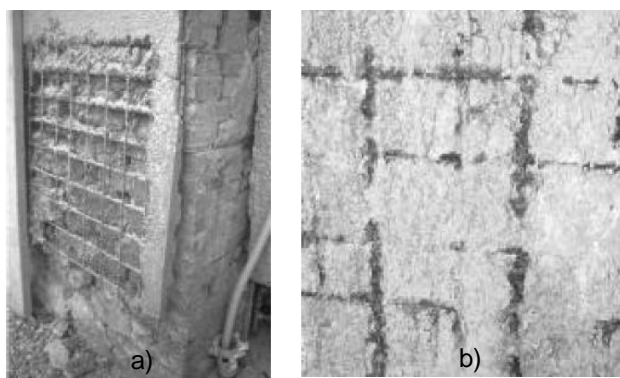


Figura 2.27 – Exemplo de aplicação da argamassa de reboco projetada

#### 2.6.4. Alguns erros de execução

Têm sido registados alguns erros de aplicação desta técnica de reforço onde se destacam [46]:

- Falta de ligação da rede de reforço no encontro de duas paredes ortogonais e na zona dos pavimentos e tetos causando, deste modo, descontinuidades no sistema
- Sobreposição insuficiente em fiadas consecutivas de rede
- Conectores demasiado espaçados ou com comprimento reduzido, causando a separação da rede da parede
- O uso de uma espessura insuficiente de argamassa de revestimento que, no caso de se utilizar redes metálicas, provoca corrosão na armadura



a) Exemplo da falta de conectores; b) Exemplo de corrosão da rede metálica [46]

Figura 2.28 – Exemplo de anomalias resultantes de erros de aplicação de um reboco armado

# APLICAÇÃO DE REBOCOS ARMADOS EM PAREDES DE EDIFÍCIOS NOVOS

### 3.1. Considerações gerais

A partir de meados do século XX, as soluções construtivas adotadas nos edifícios, foram sujeitas a uma rápida e profunda evolução. As soluções tradicionais de alvenaria resistente foram progressivamente substituídas por estruturas porticadas de betão armado e alvenarias de preenchimento.

Um reboco armado aplicado nestas alvenarias tem como principal função aumentar a resistência à fendilhação e aos choques do revestimento exterior. No entanto, quando reforçadas com rebocos armados, as alvenarias podem alterar significativamente o comportamento global de uma construção, nomeadamente através do aumento da capacidade dos painéis de alvenaria em dissipar energia [14]. Os materiais utilizados no reforço dos rebocos são, em geral, as redes de fibra de vidro, poliméricas, fibra de carbono, etc. No entanto, para além das redes distendidas sobre o suporte, podem ser utilizadas também fibras curtas dispersas, adicionadas à argamassa durante a amassadura [63].

Neste enquadramento apresenta-se, nas secções seguintes, uma caracterização da técnica de reforço de alvenarias de edifícios novos com reboco armado. Faz-se uma análise prévia das principais características dessas alvenarias, registam-se as anomalias mais frequentes e as principais soluções de reforço onde o reboco armado se insere.

### 3.2. Principais características do suporte

As paredes de alvenaria não estrutural, têm como função o preenchimento de vãos dos pórticos na envolvente dos edifícios e de compartimentação dos espaços interiores. Numa fase de projeto apenas é necessário quantificar a massa de forma a avaliar a sua ação na estrutura. Por outro lado, pode-se facilmente constatar que as alvenarias têm grande influência no desempenho do edifício, nomeadamente quanto à habitabilidade, segurança e durabilidade [47].

Em Portugal, podem-se identificar várias tipologias de paredes onde se observa, de forma clara, o aumento das preocupações de habitabilidade dentro dos edifícios. Durante o século XX, podemos observar a seguinte sequência [4, 47]:

- Paredes simples de tijolo maciço ou perfurado e espessas
- Paredes de pedra com pano interior de tijolo furado e eventual caixa-de-ar
- Paredes duplas de tijolo com pano espesso
- Paredes duplas de tijolo furado com panos de espessura média ou reduzida

- Paredes duplas de tijolo furado com isolamento térmico, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar

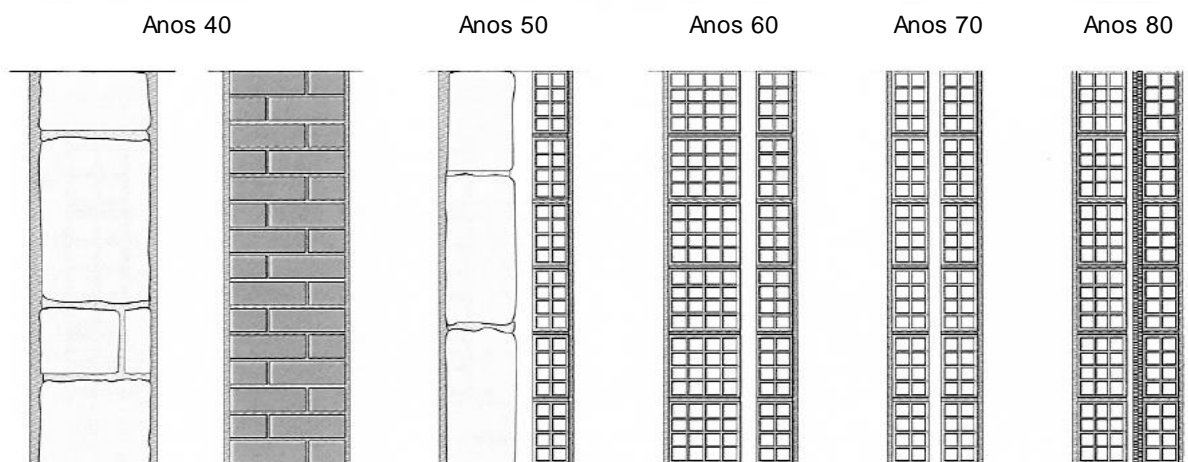


Figura 3.1 – Representação esquemática aproximada da evolução das paredes em Portugal [4]

As paredes de pano simples têm caído em desuso, como se pode observar na figura anterior. A razão principal, como já foi referido, prende-se com as preocupações de habitabilidade dos edifícios. No sentido de impor requisitos mínimos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações, foi criado em Portugal, um instrumento legal, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei Nº 40/90 (substituído posteriormente pelo Decreto-Lei Nº80/2006). No final da década de 1980, eram poucos os edifícios que dispunham de meios ativos de controlo das condições ambiente interiores, passando, posteriormente, a utilizar-se panos duplos de alvenaria com isolante térmico preenchendo parcial ou totalmente a caixa-de-ar. Verifica-se, atualmente, uma preocupação e cuidado apertado neste âmbito, inclusive com atualizações constantes, e cada vez mais exigentes, do regulamento [21, 47].

No mesmo período, foi também criado o Regulamento Geral sobre o Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei Nº251/87, no sentido da resolução de problemas acústicos. A partir desta altura, começa por adotar-se paredes duplas, com recurso a panos de alvenaria, de características, materiais e espessuras diferentes [20].

Durante muitos anos, no nosso país, a única regulamentação que condicionou a espessura das paredes de alvenaria foi o Regulamento Geral de Edificações Urbanas (RGEU) [19].

Atualmente, as paredes de panos simples ressurgiram ligadas a novas técnicas de execução de paredes, como é o caso das soluções simples com isolamento térmico pelo exterior, acabadas com revestimento delgado armado ou com proteção da estrutura com elementos cerâmicos furados. Existem ainda outras soluções recentes, pouco utilizadas no nosso país, como é o caso da alvenaria resistente de tijolo de furação vertical, alvenaria de tijolo armada e alvenaria de tijolo com montagem simplificada (com encaixes otimizados, retificações dos blocos e redução das juntas de argamassa), etc. [4, 47].

Ao longo dos anos, em Portugal, foram utilizados diferentes materiais na construção das alvenarias, tornando-se, por isso, indispensável reconhecer as diferentes soluções utilizadas, bem como as suas características mais relevantes. Atualmente verifica-se a existência de vários tipos de elementos para alvenaria, os de aplicação mais generalizada são:

- Tijolos cerâmicos
- Blocos de betão
- Outros materiais

### **Tijolos cerâmicos**

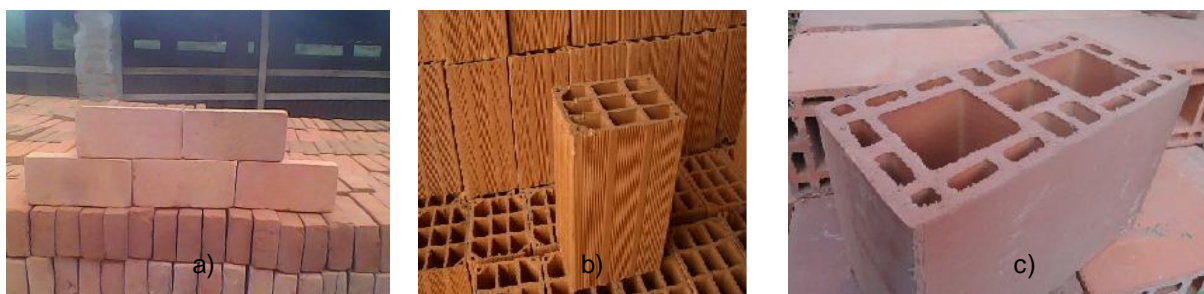
Os tijolos cerâmicos com furação horizontal são o material de maior utilização no nosso país na execução das alvenarias de preenchimento entre elementos estruturais. Estima-se que a sua utilização esteja presente em cerca de 90% dos edifícios novos [29].

Os tijolos cerâmicos podem ser classificados consoante as suas características, e quanto ao fim a que se destinam, sendo que a norma Portuguesa (NP 80) apresenta a seguinte classificação [41]:

- Maciço: tijolo, cujo volume de argila cozida não é inferior a 85% do seu volume total aparente
- Furado: tijolo com furos ou canais paralelos às suas maiores arestas e tais que a sua área não é inferior a 30% da área da face correspondente nem superior a 75% da mesma área
- Perfurado: tijolo com furos perpendiculares ao seu leito e tais que a sua área não é inferior a 15% da área da face correspondente nem superior a 50% da mesma área

Quanto à aplicação, os tijolos cerâmicos podem ser classificados [41]:

- Face à vista: tijolos cujo destino é ficarem aparentes, no interior ou no exterior da construção
- Enchimento: tijolos sem função resistente
- Resistentes: tijolos com função estrutural



a) Tijolo maciço; b) Tijolo furado; c) Tijolo perfurado

Figura 3.2 – Diferentes tipos de tijolos cerâmicos



---

### **Blocos de betão**

Os blocos de betão surgiram em Portugal na década de sessenta do século passado como material de construção para alvenarias. O seu uso nunca teve grande expressão, pois desde cedo se percebeu que estes blocos apresentavam características pouco atrativas, tais como peso elevado, dificuldade em serem trabalhados (nomeadamente dificuldade na abertura de roços), poder de absorção de humidade muito elevado e comportamento térmico é bastante insatisfatório.

A sua utilização verifica-se em situações pontuais, quase exclusivamente na execução de paredes exteriores, nomeadamente de edifícios industriais. Os blocos de betão têm algumas características interessantes no que diz respeito ao comportamento acústico, bom isolamento a sons aéreos, tal como uma boa resistência ao fogo [2, 47].

Os blocos comercializados em Portugal podem ter formato maciço ou com furação vertical como se pode observar na figura seguinte.



Figura 3.3 – Blocos de betão para alvenaria

### **Outros materiais**

Existem ainda outras soluções de paredes de alvenaria não estrutural para preenchimento de vãos. São elementos com uma utilização muito reduzida, mas que importa referir:

- Painéis de tijolo revestido a gesso, com utilização exclusiva em paredes de compartimentação. Têm a vantagem de aligeirar bastante estes elementos construtivos interiores, o que implica uma sobrecarga menor sobre a estrutura de suporte [47].
- Blocos de betão de agregados leves (grânulos de argila expandida). Utilizados na execução de fachadas em panos exteriores simples, de edifícios de habitação, escritórios e de escolas. Têm vantagens em relação aos blocos de betão normais por serem, naturalmente, mais leves, e apresentarem um comportamento térmico bastante melhor. De referir ainda o facto de apresentarem faces desempenadas, o que resulta numa economia significativa na mão-de-obra [2].
- Blocos de betão celular autoclavado. Em Portugal, na década de setenta, apareceu uma fábrica de produção deste tipo de blocos com denominação de “Ytong”. São considerados um bom material devido às suas boas características, leveza dos blocos, facilidade em serem

trabalhados, bom comportamento térmico, faces regulares e juntas de assentamento delgadas. No entanto, chegou-se a conclusão que os blocos fornecidos no nosso país apresentavam bastantes insuficiências acabando por provocarem anomalias significativas (fendilhação) o que levou ao abandono da sua utilização [2].

### **Argamassas**

As argamassas de assentamento destinam-se a unir os vários elementos entre si, transmitindo os esforços existentes na alvenaria, tornando-a monolítica e, atuando também como um agente de ajuste de deformações. Geralmente, as argamassas de assentamento são as mesmas que se utilizam no revestimento das paredes, realizam-se em obra com uma mistura à base de cimento e areia. Podem encontrar-se ainda argamassas de cal hidratada ou hidráulica, solução que caiu em desuso sobretudo nas argamassas de assentamento.

O tipo de cimento mais correntemente utilizado é o Portland CEM II/B mas, na maioria dos casos não há cuidados especiais na seleção do tipo de cimento. Em Portugal, ao nível do projeto, existe muito pouca documentação relativamente à composição das argamassas de assentamento. Quando existem preocupações a este nível, são em geral desadequadas, transferindo para a execução em obra, através do conhecimento empírico dos encarregados de obra, a resolução do problema.

Contudo, tem vindo a verificar-se uma certa preocupação por parte de algumas empresas produtoras de elementos para alvenarias, levando-as a incluírem a descrição técnica dos produtos destinados à aplicação de argamassas de assentamento. Esta preocupação resultou na criação de novos produtos, como é o caso das argamassas pré-fabricadas. O desenvolvimento de produtos específicos permite melhorar aspetos de trabalhabilidade, aderência, capacidade de reter água e baixo módulo de elasticidade. Será importante, pois, tratando-se de produtos de produção industrial, evitar variação e aleatoriedade das propriedades das argamassas realizadas em obra sem qualquer controlo [47].

### **3.3. Registo de anomalias**

As paredes dos edifícios novos constituem um dos subsistemas mais importantes, particularmente as paredes exteriores que separam o ambiente interior do exterior. Têm um papel de extrema relevância devido à sua capacidade em satisfazer diversas exigências funcionais. Contudo, é frequente ouvir relatos de insatisfação dos proprietários [47, 54].

Considera-se que a evolução das paredes, no que diz respeito a métodos construtivos e materiais, dá-se sempre que se pretende corrigir determinada falha de comportamento. Veja-se os seguintes exemplos: as paredes de pedra que apresentavam um comportamento térmico bastante insatisfatório, com aparecimento generalizado de condensações, foram ultrapassadas pelas paredes de tijolo furado de pano simples. Estas, extremamente sensíveis a problemas de humidade, foram substituídas pelas paredes de pano duplo. As paredes de pano duplo que, posteriormente, foram complementadas com introdução de isolamento térmico na caixa-de-ar, apresentavam ainda problemas relacionados com as pontes térmicas tendo sido, posteriormente, ultrapassadas por

---

soluções de pano simples com isolamento térmico colocado pelo exterior e revestimento delgado armado [50].

Como se viu anteriormente, a evolução é determinante para o melhoramento das construções. Para que tal aconteça, torna-se imperativo o estudo das alvenarias através da caracterização experimental. Este estudo é bastante complexo e envolve, em geral, custos mais elevados do que em outros materiais de construção, razão pela qual o início da caracterização experimental tenha ocorrido mais tarde do que o verificado noutras áreas da engenharia e da construção [47].

Em Portugal, as anomalias mais frequentes relacionadas com alvenarias não estruturais são:

- Fissuração
- Manifestação humidade
- Degradação dos revestimentos

Na origem das referidas anomalias estão as soluções construtivas de projeto desadequadas, fraca qualidade de mão-de-obra e, naturalmente, aspetos de carácter económico [47].

### **3.3.1. Fissuração**

A grande percentagem das anomalias presentes em edifícios é constituída por patologias nas alvenarias e destas, a maioria são defeitos de estanquidade, dos quais a fendilhação da alvenaria ou do reboco assume a maior fatia.

Pela forma como são realizados atualmente em Portugal, os rebocos apresentam grande tendência para fendilhar. Assim, parece razoável atribuir à fissuração dos rebocos a causa principal para a ocorrência desta patologia no nosso país. A fendilhação em paredes aparece, por si só, como uma anomalia muito frequente e, curiosamente, com um peso quase tão significativo em patologias de edifícios, como em repatologia, ou seja, estas anomalias voltam a repetir-se pouco tempo depois da realização de intervenções de reparação [63].

O aparecimento desta anomalia nestas paredes tem duas causas principais:

- Causas atribuíveis ao suporte
  - Fissuração causada por variações térmicas
  - Fissuração causada por movimentações higroscópicas
  - Fissuração causada pela atuação excessiva de cargas
  - Fissuração causada por deformações excessivas da estrutura de suporte
  - Fissuração causada por assentamentos diferenciais de apoio
- Causas atribuíveis ao reboco
  - Fissuração causada pela retração do reboco



### Causas atribuíveis ao suporte

- Fissuração causada por variações térmicas

As fissuras nas paredes, que resultam de variações térmicas, têm como causa a exposição dos elementos e componentes da alvenaria às variações de temperatura. Essas variações dão origem a uma alteração dimensional dos materiais de construção (dilatação ou contração). Tais movimentos ao serem restringidos pelas diversas ligações que envolvem os elementos, provocam tensões nos materiais que podem dar origem à fissuração. As movimentações dos materiais estão diretamente relacionadas com as suas propriedades físicas e com a amplitude térmica a que são sujeitos, a magnitude das tensões depende da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto pelas ligações e das propriedades elásticas do material [54].

As fissuras com origem em variações térmicas surgem devido a movimentações diferenciais, é comum verificar-se a ocorrência desta anomalia na ligação de materiais com diferentes coeficientes de dilatação sujeitos às mesmas amplitudes térmicas, veja-se por exemplo, os movimentos diferenciais entre a argamassa de assentamento e os elementos cerâmicos, ou ainda, os locais de exposição dos elementos a diferentes solicitações térmicas, bastante comum na zona da cobertura em relação às paredes do edifício [47, 54].

Outro fator com causa direta no aparecimento de anomalias deste tipo, está relacionado com a fadiga dos materiais, em que as ações cíclicas de carregamento/descarregamento ou solicitações alternadas de tração/compressão provocam desgaste nos elementos constituintes das paredes de alvenaria. Finalmente, refere-se as mudanças de temperatura associadas ao fator tempo, pois uma mudança brusca pode também ser relevante na degradação dos materiais, visto que amplitudes térmicas elevadas, num curto período de tempo podem provocar um “choque térmico” [47].

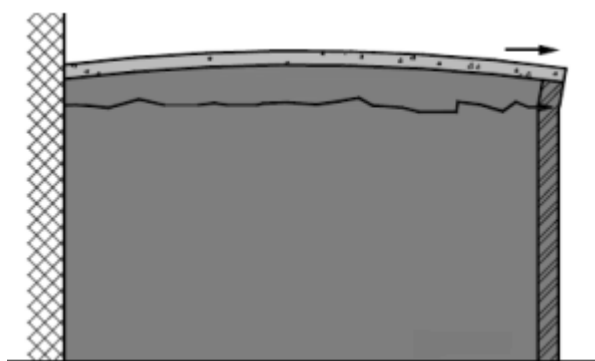


Figura 3.4 – Representação de uma fenda típica devido à dilatação da laje [47]

- Fissuração causada por movimentações higroscópicas

As mudanças higroscópicas provocam variações dimensionais nos materiais porosos que integram as paredes de alvenaria. O aumento do teor de humidade produz uma expansão dos materiais, enquanto que uma diminuição desse teor provoca uma contração. Assim, existindo restrições a esses movimentos ocorrem, naturalmente, fissuras nos elementos do sistema construtivo devido às tensões

---

que se instalam. A humidade pode ter acesso aos materiais de construção através de diversas vias: humidade resultante da produção dos materiais, humidade proveniente da execução da obra, humidade do ar ou proveniente de fenómenos meteorológicos, humidade do solo que ascende por capilaridade.

Sendo constituídas por materiais porosos com capacidade de absorção de água, as paredes de alvenaria são naturalmente afetadas em função das propriedades desses mesmos materiais, ou seja, do grau de exposição à humidade, da capacidade de acomodação aos movimentos e do grau de restrição imposto a esses movimentos. A expansão das alvenarias ocorre, logicamente, em locais mais sujeitos à ação da humidade, como por exemplo: cantos desabrigados, platibandas, base das paredes, etc., em alvenarias pouco carregadas, caso típico de edifícios de pequeno porte, a expansão diferenciada entre fiadas de tijolos ou blocos de betão dá, frequentemente, origem a fendas horizontais na base das paredes. Tal acontece devido ao fato das fiadas inferiores estarem mais sujeitas à humidade, apresentando maior expansão que as fiadas superiores [47, 54].

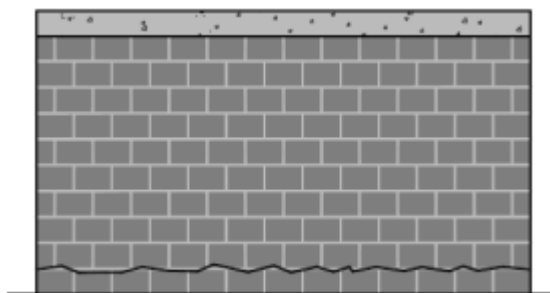


Figura 3.5 – Representação de uma fenda horizontal devido a movimentações higroscópicas [47]

- Fissuração causada pela atuação excessiva de cargas

Uma solicitação externa, prevista ou não em fase de projeto, e que provoca fissuração numa parede de alvenaria é naturalmente considerada excessiva. Os movimentos sísmicos provocam sobre as construções vibrações horizontais e verticais, sendo as mais importantes as primeiras, pois induzem forças laterais tanto maiores quanto maiores forem a vibração e a massa dos elementos. A integridade duma construção sob a ação dum sismo está associada à elevada resistência da construção, ou à capacidade de se deformar sem perder a integridade [47].

Considere-se a atuação de uma sobrecarga uniformemente distribuída em toda a alvenaria. Antes de analisar as possíveis anomalias provocadas devido a atuação desta sobrecarga, importa identificar dois painéis distintos de alvenaria, painéis contínuos e painéis com aberturas. Em painéis contínuos é frequente encontrar dois tipos característicos de fissuras: fissuras verticais, as mais comuns, que resultam da deformação transversal da argamassa sob a ação das tensões de compressão ou da flexão local dos componentes de alvenaria. Fissuras horizontais, resultantes da rutura, por compressão, dos elementos da alvenaria, da própria argamassa de assentamento ou de solicitações de flexão axial da parede. Nos painéis onde existem aberturas, as fissuras formam-se a partir dos vértices dessa abertura, ou no caso de janelas, também sob o peitoril. Estas fissuras poderão

manifestar-se segundo diversas configurações, em função dos fatores intervenientes, tais como: dimensões do painel de alvenaria, dimensão e posição da abertura, anisotropia dos materiais que constituem a alvenaria, etc. [47, 54].

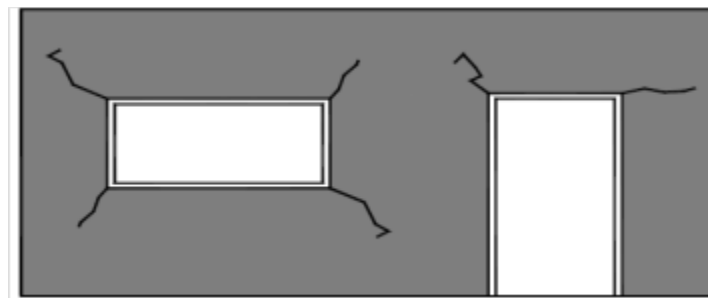


Figura 3.6 – Representação da fendilhação nos cantos das aberturas [47]

- Fissuração causada por deformação excessiva da estrutura de suporte

Os elementos estruturais, nomeadamente vigas e lajes, sofrem deformações sob ação das várias cargas aplicadas tais como: o peso próprio e revestimentos, sobrecargas ou mesmo sob ação da retração do betão. Aquando do dimensionamento destes elementos, em fase de projeto, são considerados admissíveis deslocamentos máximos que em nada comprometem a estabilidade, resistência ou mesmo a própria estética. No entanto, estes deslocamentos podem ser incompatíveis com a capacidade de deformação das paredes de alvenaria.

Como referido anteriormente, os elementos estruturais mais suscetíveis a deformações resultante de esforços de flexão são as vigas e as lajes [47, 54].

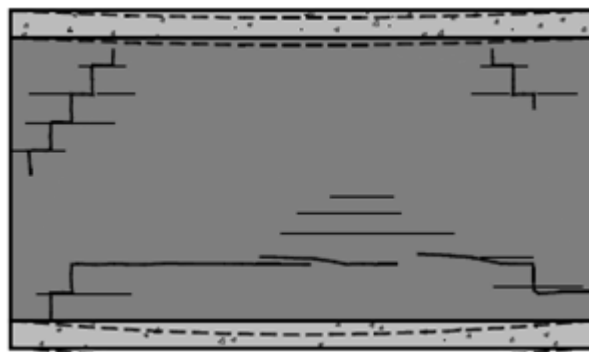


Figura 3.7 – Representação de fendas causadas por deformação da estrutura de suporte [47]

- Fissuração causada por assentamentos diferenciais de apoio

Os assentamentos diferenciais provocam nas paredes fissuras inclinadas, na direção que vai desde o ponto da parede onde ocorreu o maior assentamento, descendo até ao ponto de menor assentamento.

A capacidade de carga e a deformabilidade do terreno de fundação são função do tipo e característica do terreno; intensidade de carga aplicada; tipo de fundação direta ou indireta e sua profundidade; material, dimensões e geometria da fundação; nível freático e interferência de

fundações vizinhas, vegetação e tráfego. Em geral, mediante a ação de assentamentos diferenciais, há grande probabilidade das estruturas terem um comportamento flexível, levando ao aparecimento de tensões de corte nas paredes que lhes estão vinculadas [47, 54].

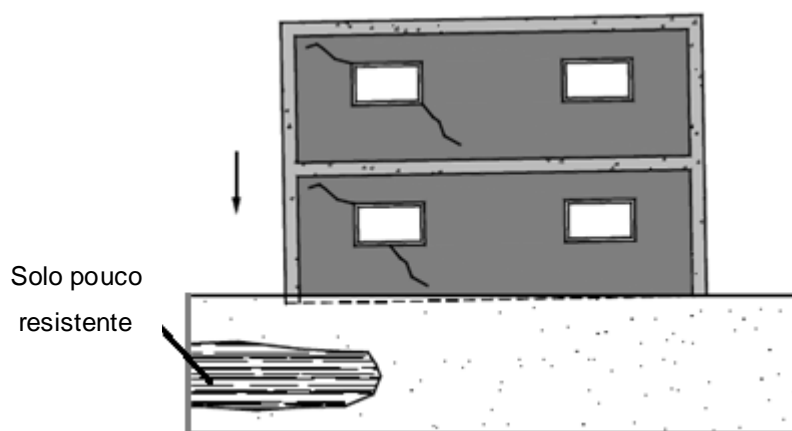


Figura 3.8 – Representação esquemática de fendas provocadas por assentamento de apoio [47]

### Causas atribuíveis ao reboco

- Fissuração causada pela retração do reboco

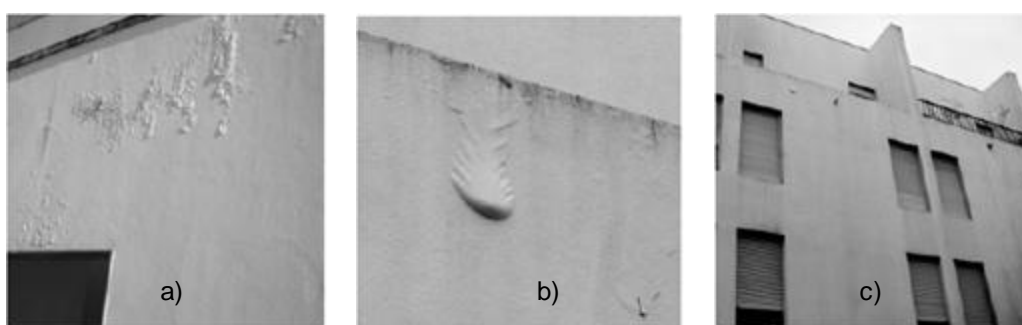
A restrição da retração do reboco pelo suporte, em geral mais rígido, dá origem a tensões de tração e de corte no plano de aderência. As tensões de tração tendem a causar fendilhação, enquanto que as tensões de corte dão origem a perdas de aderência entre o reboco e o suporte, podendo as duas anomalias ocorrer em simultâneo. Uma aderência forte e uniforme favorece a distribuição das tensões de corte, que podem absorver a totalidade das tensões geradas pela retração.

Este tipo de fendilhação é muito frequente no nosso país, nomeadamente em construção nova, devido a deficiências da composição do reboco ou da sua aplicação. Em geral, é facilmente identificável pelo seu aspeto, as fendas não têm direção definida e vão abrindo, sucessivamente, segundo direções aproximadamente perpendiculares, formando um padrão de polígonos de malha mais ou menos larga. A malha é tanto mais larga e as fendas são tanto mais abertas e profundas, quanto mais rígido for o revestimento e mais espessa a camada. Uma forte dosagem de ligante, o uso de areias com alto teor de finos, a aplicação de camadas muito espessas, o excesso de água de amassadura, a aplicação em condições climáticas desfavoráveis, nomeadamente com tempo muito quente e seco, ou com vento forte e seco, são algumas das condições que tornam provável o aparecimento de fendilhação por retração restringida. O alisamento demasiado prolongado e apertado, que provoca a migração de finos à superfície, está muitas vezes na origem da fissuração, assim, deve evitar-se o alisamento à colher ou mesmo o alisamento á talocha. Deve também evitar-se uma secagem demasiado rápida das várias camadas. O respeito pelos tempos de secagem das várias camadas e o cumprimento da regra da diminuição do teor de ligante, contribuem para melhorar a aderência e reduzir os efeitos da retração [47, 63].

### 3.3.2. Manifestações de humidade

As paredes exteriores devem responder a diferentes exigências consoante o ambiente exterior e interior que separam. Em ambientes interiores onde a humidade relativa sofre grandes oscilações pode ser recomendável a utilização de barreira pára-vapor que impeça o atravessamento da parede e previna eventuais condensações superficiais.

No Inverno, a temperatura tende a ser superior no interior dos edifícios e, com a contribuição da sua ocupação e uso, também é maior a pressão de vapor de água no ar. Uma vez que existe um diferencial de pressão com o exterior, o vapor tem tendência a migrar nesse sentido, mas à medida que a parede vai arrefecendo o valor da pressão de saturação também baixa e, no ponto onde iguala a pressão instalada, ocorrem as condensações [55, 63].



a) Bolsas de água sob a pintura; b) Bolsa de água junto à platibanda; c) Platibanda sem capeamento

Figura 3.9 – Exemplos de manifestações de humidade em paredes exteriores [55]

Quando as paredes de alvenaria contactam com solos húmidos, de forma direta ou através de elementos construtivos porosos, ocorre um fenómeno de ascensão capilar da água. Este fenómeno tem consequências graves como a diminuição da resistência térmica da parede e degradação dos revestimentos. A humidade proveniente dos solos contem sais higroscópicos que normalmente dão origem à acumulação de sais visíveis na superfície da parede, à degradação da tinta e dos revestimentos (rebocos ou estuques) numa faixa de altura variável, em geral, junto à base das paredes do piso térreo, a manchas nos revestimentos interiores na faixa referida a descolamento de revestimentos cerâmicos ou equivalentes [55, 63].



Figura 3.10 – Exemplos de deterioração dos revestimentos devido à humidade ascensional [55]

### 3.3.3. Degradação de revestimentos

Os revestimentos de paredes têm uma influência significativa nas condições de habitabilidade dos edifícios e apresentam um papel importante na estanquidade à água, pois condicionam o aspecto estético dos edifícios, influenciam o isolamento térmico e protegem as alvenarias, afetando diretamente a sua durabilidade. Segundo o Censos 2001, os principais revestimentos exteriores de paredes são o reboco tradicional (61,9%), as placas de pedra (14,6%) e os ladrilhos cerâmicos (4,5%). A degradação dos revestimentos é uma anomalia muito comum em paredes de edifícios recentes sendo que, tal acontece, principalmente, devido à má aplicação dos mesmos que, em associação com uma ou mais patologias referidas anteriormente, resultam numa durabilidade muito reduzida [25].

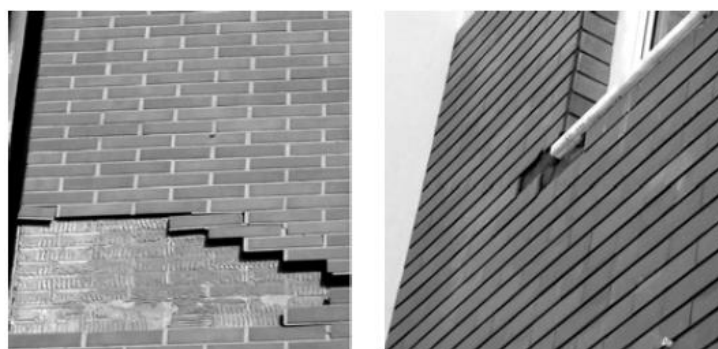


Figura 3.11 – Exemplo de anomalias em revestimentos cerâmicos [55]

### 3.4. Técnicas de reabilitação de paredes de edifícios novos

A reabilitação das alvenarias não estruturais combina, tradicionalmente, uma ou várias das seguintes estratégias de intervenção: eliminação das anomalias, substituição dos elementos e materiais, ocultação de anomalias, proteção contra os agentes agressivos, eliminação das causas das anomalias, reforço das características funcionais.

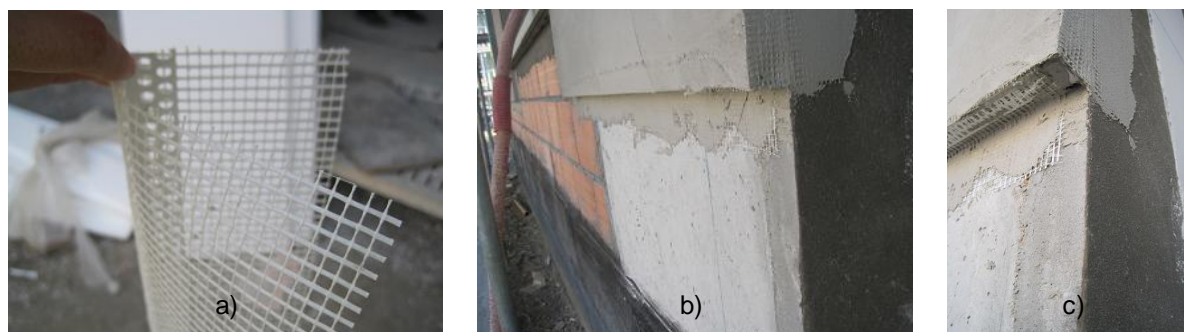
A escolha de uma destas estratégias ou da sua combinação entre si, está dependente do tipo de anomalia, da facilidade de diagnóstico e das condicionantes técnicas, económicas e sociais da realização dos trabalhos de reabilitação. A eliminação das causas das anomalias, apesar de ser a mais desejável, não é uma das opções mais frequentes pois é uma estratégia que reúne, em geral, vários constrangimentos difíceis de ultrapassar.

Resultante da análise feita às várias estratégias de intervenção a seguir, faz-se então a seleção de qual a melhor técnica de reabilitação a utilizar. Atualmente as principais técnicas de reabilitação utilizadas nestas paredes são [54]:

- Reboco armado
- Tratamento de fissuras em “ponte”
- Armadura de junta

### 3.4.1. Reboco armado

A utilização de um reboco armado em paredes de alvenaria de preenchimento de pórticos de betão armado tem como objetivo aumentar a resistência à fendilhação e aos choques do revestimento exterior e interior. A sua aplicação visa evitar os problemas de fendilhação em zonas de descontinuidade de materiais do suporte (ligação alvenaria-estrutura), fig.3.12, em zonas de concentração de tensões (vértices de vãos) ou em zonas do suporte superficialmente fendilhadas. As armaduras usadas no reforço do revestimento são de dois tipos: fibras dispersas adicionadas na amassadura da argamassa ou redes distendidas sob o suporte. Os materiais utilizados no fabrico das armaduras são normalmente as fibras de vidro, poliméricas ou ainda algumas fibras naturais [53, 63]. A aplicação desta técnica é o tema central da presente dissertação, pelo que, será descrita com maior detalhe na secção seguinte.

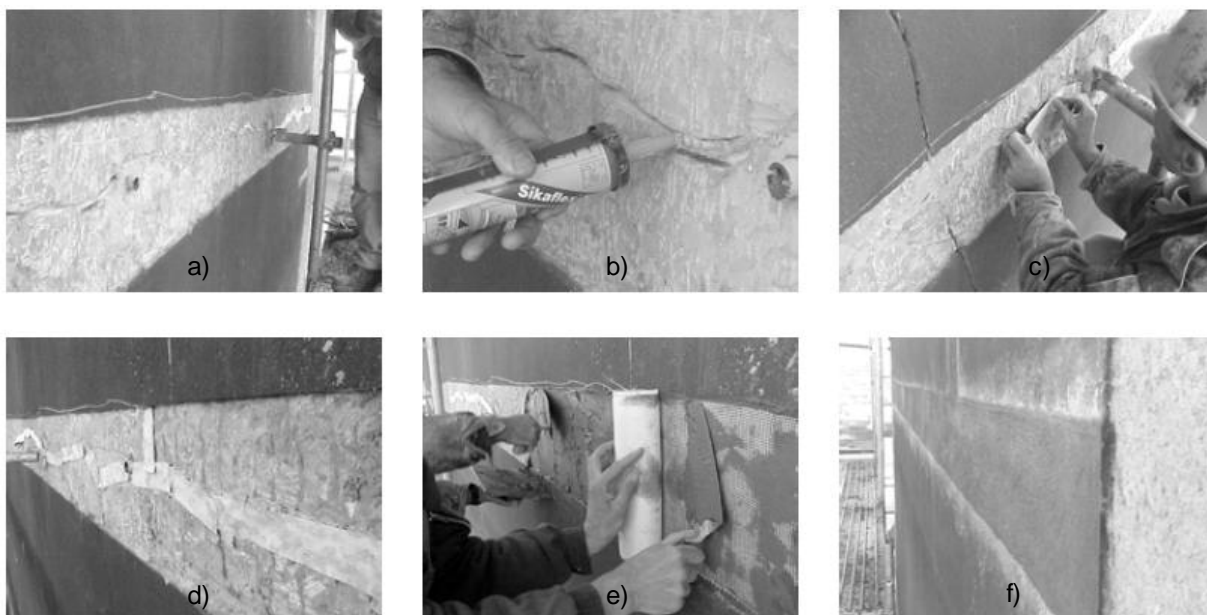


a) Rede em fibra de vidro; b) e c) Reboco armado aplicado em zona heterogénea do suporte

Figura 3.12 – Exemplo de aplicação de um reboco armado

### 3.4.2. Tratamento de fissuras em “ponte”

O tratamento de fissuras em “ponte” é uma técnica que visa eliminar, naturalmente, as fissuras de uma alvenaria. Consiste essencialmente na remoção do reboco na zona da fissura numa faixa de 20 a 25 cm de largura, realizando-se de seguida, o reativamento das fissuras em “V” através da utilização de um disco rotativo e da aplicação de um mástique sintético de enchimento da mesma. Posteriormente utiliza-se uma fita de dessolidarização (papel *Kraft*) com 2 a 4 cm de largura sobre a fissura já selada com o mástique e, para finalizar, faz-se a reparação do reboco com argamassa armada, de forma a reduzir a retração, fig. 3.13 [54]



a) Reativamento da fissura; b) Aplicação do mástique; c) e d) Colocação da fita de dessolidarização (papel *Kraft*); e) Aplicação de um reboco armado; f) Resultado final.

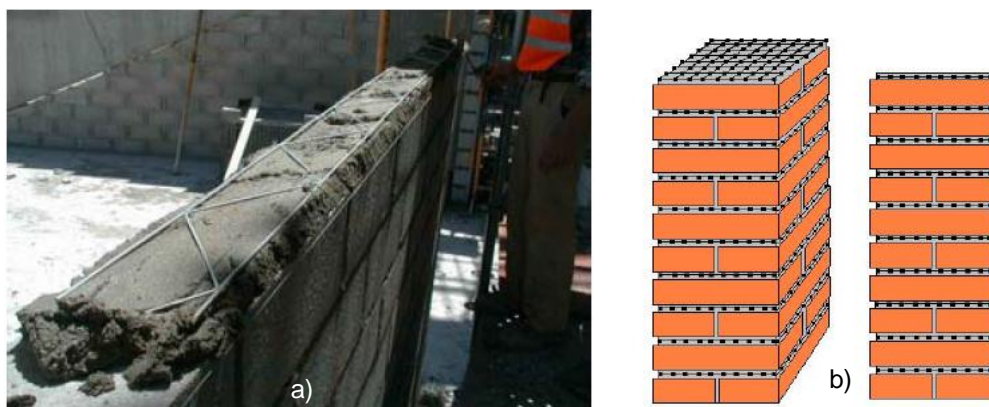
Figura 3.13 – Execução do tratamento de uma fissura em “ponte” [54]

### 3.4.3. Armadura de junta

A utilização de armaduras colocadas nas juntas horizontais de tijolos cerâmicos ou de blocos de betão destina-se, essencialmente, a reforçar alvenarias de construções novas ou, no caso de ser necessário demolir uma alvenaria, a reconstrução pode ser realizada através da aplicação desta técnica. Como armadura de reforço, podem utilizadas armaduras metálicas ou redes poliméricas introduzidas nas juntas dos tijolos cerâmicos ou blocos de betão. A colocação das redes nas juntas de assentamento, espaçadas de forma uniforme confere uma distribuição de tensões mais eficaz, melhorando as características da alvenaria, nomeadamente, resistência a esforços de corte, de tração e de compressão, fig.3.14. Com este reforço as fendas a 45°, típicas nas construções de alvenaria sem reforço quando se instalam esforços de corte, deixam de ocorrer.

Por norma, as redes não são colocadas em todas as fiadas de tijolo, apenas de 3 a 5 fiadas. Este reforço atua apenas no plano horizontal, apesar de alguns dos seus efeitos se sentirem também no plano vertical [35, 57].





a) Exemplo de armadura metálica de junta [35]; b) Representação de uma rede polimérica para reforço de juntas horizontais [57]

Figura 3.14 – Exemplos de armaduras de reforço para juntas horizontais

### 3.5. Reboco armado – Caracterização pormenorizada

Sendo este assunto o tema central da dissertação fez-se, em seguida, uma descrição detalhada desta técnica de reforço, designadamente, através da caracterização das argamassas de revestimento utilizadas, armaduras de reforço e técnicas de aplicação.

A aplicação de rebocos armados nestas alvenarias possibilita combinar várias das estratégias de intervenção anteriormente referidas, nomeadamente através do reforço das características funcionais, eliminação das anomalias ou ocultação das mesmas.

O reforço da argamassa de revestimento para aplicar em alvenarias de edifícios novos é uma técnica com cada vez mais interesse, uma vez que apresenta um baixo custo de aplicação devido aos materiais utilizados, facilidade de aplicação e o reforço conseguido é bastante eficaz. A fragilidade e baixa resistência à tração são os maiores inconvenientes das argamassas. No entanto, com a adição de fibras curtas aquando da amassadura de uma argamassa, as suas propriedades físicas e mecânicas sofrem melhorias significativas, nomeadamente ao nível da resistência a esforços de compressão, tração e corte, aumento de flexibilidade, resistência ao impacto, à fadiga, aumento da capacidade de deformação. O melhoramento das propriedades depende do tamanho e volume de fibras adicionadas na mistura [53].

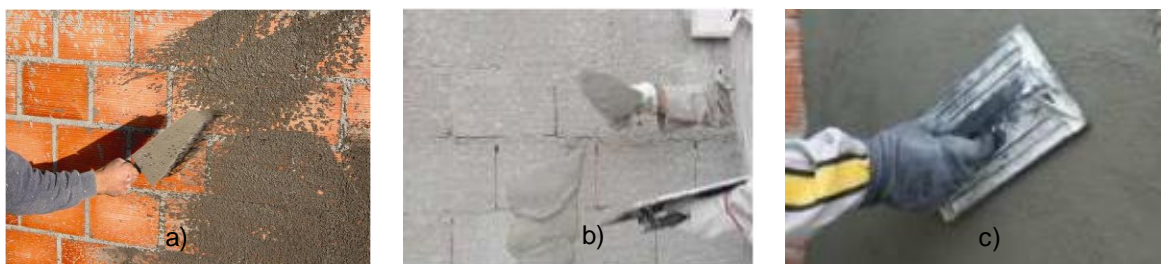
A execução de um reboco armado, tal como já referido no capítulo anterior, combina essencialmente dois materiais principais, a argamassa de revestimento e a armadura de reforço. De forma a avaliar a melhor solução para cada situação específica torna-se imprescindível conhecer esses materiais e as suas características.

### 3.5.1. Argamassa de revestimento

#### Rebocos tradicionais

Os revestimentos de fachadas de ligante mineral devem verificar determinadas exigências funcionais gerais, para além de cumprirem, em cada caso, exigências mais específicas variáveis conforme o suporte, o tipo de construção, condições climáticas, exposição, etc. Estes requisitos devem ser assegurados pela solução de reboco, ou seja, pelo conjunto das várias camadas que o constituem. Para os rebocos correntes executados em obra são recomendadas, pelo menos, três camadas [3]:

- Crespido ou camada de aderência, bastante fluida, rugosa, com elevada dosagem de ligante, destinada a homogeneizar a absorção do suporte e a estabelecer a ligação com a alvenaria
- Camada de base, destinada a promover a regularização e a impermeabilização
- Camada de acabamento, mais fina, de menor granulometria e mais fraca que as anteriores, vocacionada para proteção e para conferir um acabamento esteticamente aceitável, que será depois complementado por exemplo, por uma pintura



a) Crespido; b) Camada de base; c) Camada de acabamento

Figura 3.15 – Exemplos de aplicação de um reboco tradicional [69]

Estas camadas devem obedecer à regra da diminuição do teor de ligante no sentido alvenaria-exterior, para que o revestimento seja mais poroso e mais deformável do interior para o exterior. Atualmente, devido ao elevado custo da mão-de-obra e aos curtos prazos impostos à construção, mas também como consequência do potencial de inovação e de melhoria do desempenho da indústria, usam-se, cada vez mais, produtos pré-doseados aplicáveis numa única camada (rebocos monocamada) [3, 64].

#### Rebocos não-tradicionais

Os rebocos não-tradicionais têm uma formulação otimizada de acordo com os objetivos específicos do revestimento em causa. Dos rebocos não-tradicionais, os rebocos do tipo monocamada são os mais utilizados em Portugal, pois desempenham numa só camada as funções das três camadas tradicionais. Este fator, aliado à sua aplicação por projeção, tornam estes produtos de muito rápida aplicação, logo apetecíveis face ao ritmo de construção atual. Estes revestimentos podem ser também pigmentados em massa, dispensando a aplicação de pintura, garantindo simultaneamente o

acabamento e decoração dos paramentos. Os rebocos monocamada para alvenarias correntes de tijolo cerâmico ou blocos de betão têm, em geral, na sua composição, adjuvantes que lhes garantem uma maior impermeabilidade à água em zona corrente e um módulo de elasticidade baixo, em simultâneo com resistências à tração relativamente elevadas. Além disso, são menos sensíveis à sucção do suporte e às variações de temperatura e humidade na altura da aplicação, devido aos adjuvantes retentores de água, constituintes habituais destes revestimentos [3].

Os revestimentos aplicáveis sobre isolante, ETICS (*external thermal insulation composite systems*) sistemas de isolamento térmico pelo exterior por revestimento aplicado sobre isolante, estão sujeitos a solicitações particularmente severas, quer devido à menor estabilidade dimensional do suporte isolante, quer devido aos choques térmicos mais fortes a que está sujeito. Deste modo, é natural que os revestimentos que se destinam a esse tipo de aplicações sejam formulados de forma a apresentarem bom comportamento à fendilhação [63].

O ligante utilizado nestes revestimentos é, na maioria dos casos, do tipo misto, ou seja, cimento e cal. No que diz respeito à espessura, estes revestimentos apresentam espessuras inferiores aos revestimentos tradicionais, da ordem de 3 a 5mm contra espessuras de cerca de 5 a 15mm. Com estes produtos conseguem-se resistências significativamente superiores e maiores durabilidades, normalmente recorre-se a armaduras de redes de fibra de vidro ou de outros materiais, com o objetivo de melhorar a resistência à fendilhação e a resistência ao choque [3, 63].



a) Produto em pó; b) Máquina de amassar com doseamento automático de água; c) Projeção da argamassa

Figura 3.16 – Exemplo de aplicação de um reboco monocamada [3]

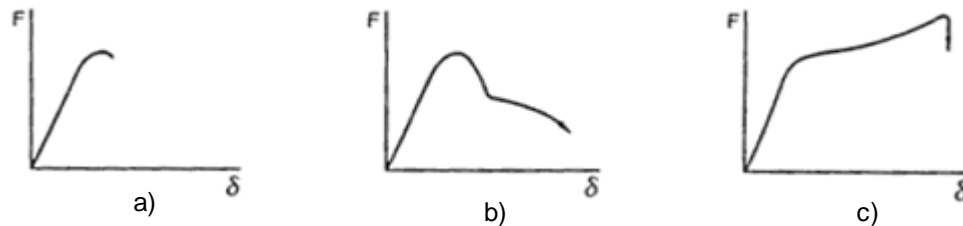
### 3.5.2. Armaduras de reforço

As armaduras de reforço utilizadas nos rebocos aplicados em paredes de edifícios novos podem ser dos seguintes tipos:

- Fibras dispersas
- Redes

## Fibras dispersas

A incorporação de fibras em argamassas tem como objetivos principais aumentar a resistência à tração, à flexão e aos choques bem como aumentar a sua ductilidade. Os parâmetros da fibra que influenciam o comportamento da argamassa são: resistência à tração, módulo de elasticidade e extensão na rotura, aderência à matriz (formato, estado de superfície, ligação química), comprimento ( $l$ ), diâmetro ( $d$ ) e relação  $l/d$ , orientação da fibra [63].



a) Argamassa sem fibras ( $V_f=0$ ); b) Argamassa com fibras ( $V_f < V_{fcrit}$ ); c) Argamassa com fibras ( $V_f \geq V_{fcrit}$ ).

Figura 3.17 – Curvas força-deslocamento de provetes reforçados com fibras em tração pura [63]

O volume crítico ( $V_{fcrit}$ ) num compósito é o volume mínimo de fibras que, depois da abertura da 1ª fenda, tem capacidade para suportar a totalidade da força que o compósito suportava antes da fendilhação. Este valor depende da relação entre a resistência à tração da fibra e da matriz, bem como da relação  $l/d$  da fibra e da aderência desta à matriz [63].

O comprimento crítico ( $l_{crit}$ ) é o comprimento mínimo da fibra que permite que, num compósito, a tensão na fibra atinja a sua resistência à rotura, ou seja, é mobilizada a resistência à tração total da fibra num ponto. O valor deste parâmetro depende da relação entre a resistência à tração da fibra e a sua aderência à matriz [63].

As fibras dispersas têm uma maior eficácia quanto maior for o seu comprimento e menor o seu diâmetro. No entanto, nas argamassas de reboco, se as técnicas de amassadura e de aplicação forem as usuais (amassadura em betoneira, máquina de projeção ou aplicação manual), não é possível aumentar muito o comprimento (acima de 1cm) nem usar diâmetros muito reduzidos, pois os riscos de fraca miscibilidade e deficiente trabalhabilidade são elevados [12].

A aderência à matriz é também uma característica da fibra que influencia muito o comportamento da argamassa armada. Os fabricantes usam tratamentos superficiais e alteram o formato das fibras de forma a melhorar as características químicas e mecânicas.

É comum verificar que nos rebocos recém aplicados se desenvolvem tensões resultantes da retração restringida, provocando fissuração generalizada, sendo que a adição de fibras, mesmo em pequenas dosagens, pode traduzir-se num aumento efetivo da capacidade para dissipar essas tensões evitando, assim, uma fissuração precoce [63].

No que diz respeito aos materiais utilizados no fabrico das fibras dispersas para reforço de rebocos, verifica-se que são a fibra de vidro, principalmente a do tipo AR (resistente aos álcalis) e a fibra de polipropileno, no entanto, podem também ser usadas fibras naturais, como a de sisal, ou mesmo

fibras mais nobres de carbono ou aramida. A utilização de fibras em rebocos tradicionais não está difundida no nosso país, mas são comercializados no mercado nacional, rebocos não-tradicionais que incorporam fibras destes tipos. Estes tipos de fibras têm características muito diferentes entre si e o seu modo de atuação é também diferente [12, 22, 63].

Tabela 3.1 – Propriedades de diferentes fibras de reforço para argamassas [12, 22]

Fibra	Diâmetro (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo de Elasticidade (Gpa)	Resistência à Tração (Mpa)	Deformação na rotura (%)
Vidro	9-15	2,6	70-80	2-4	2-3,5
Polipropileno	20-200	0,9	5,0-7,7	0,5-0,75	8
Carbono	9	1,9	230	2,6	1
Aramida	10	1,45	60-133	3,6	2,1-4,0
Sisal	-	-	13-26	0,28-0,57	3-5

#### Fibras de vidro

As fibras de vidro do tipo AR, usadas atualmente no reforço de argamassas têm, devido à sua constituição, uma boa resistência aos álcalis do cimento, por terem uma percentagem de silicato de zircónio elevada (cerca de 16%). Por outro lado, as anteriormente usadas para esse fim não tinham este composto, como a fibra de vidro do tipo A, essencialmente constituída por silicatos de sódio e cálcio (não usado atualmente em matriz cimentícia) e a fibra de vidro do tipo E que, embora mais estável que a fibra do tipo A em matriz de cimento, sofre um rápido processo de deterioração com perda de peso e de diâmetro dos filamentos. A fibra do tipo AR é quimicamente mais estável mas sofre, mesmo assim, perdas de resistência e de ductilidade significativas [4, 63].

A fibra de vidro, como reforço de argamassa de reboco, apresenta as seguintes vantagens:

- Incombustibilidade
- Elevada resistência à tração e elevado módulo de elasticidade, que permitem, com teores volumétricos apropriados, melhorar as características de pré-fendilhação da matriz
- Ligação fibra-matriz bastante boa (da ordem de 3 MPa), o que melhora a eficiência do compósito (embora reduza a ductilidade)
- Boa resistência aos raios ultravioleta
- Não favorecimento do crescimento de fungos ou de outros micro-organismos

Por outro lado, apresenta os seguintes inconvenientes:

- Suscetibilidade ao ataque pelos álcalis do cimento
- Suscetibilidade à degradação por atrito
- Dificuldade de mistura na argamassa



Figura 3.18 – Exemplo de fibras de vidro dispersas para reforço de argamassas [70]

### **Fibras de polipropileno**

As fibras de polipropileno são também muito usadas, na sua forma, em argamassas e betões e apresentam como principais vantagens [39, 63]:

- Baixo custo
- Inercia química aos álcalis e aos ácidos e, portanto, aos compostos do cimento e dos restantes materiais que constituem as paredes habitualmente
- Hidrofobia (não absorção de água, a não ser que o tratamento de superfície apresente outras características)
- Não favorecimento do crescimento de fungos ou de outros micro-organismos
- Boa ligação mecânica da fibra à matriz de cimento, originada pela fibrilação, apesar da reduzida ligação química
- Boa miscibilidade na argamassa.

Por outro lado tem como principais desvantagens [39, 63]:

- Combustibilidade
- Baixo módulo de elasticidade, o que implica o não aumento da tensão de abertura da 1ª fenda na argamassa endurecida
- Má aderência dos monofilamentos à matriz
- Suscetibilidade ao ataque dos raios ultravioleta



Figura 3.19 – Exemplo de fibras de polipropileno para reforço de argamassas

### **Outros tipos de fibras**

Podem também ser usadas outros tipos de fibras mais nobres, tais como fibras de carbono e de aramida, que apresentam boas características mecânica mas com um custo muito elevado, ou fibras naturais, como a celulose, de coco, de sisal, etc., usadas em países onde existem em abundância, como o Brasil ou alguns países africanos e asiáticos, embora se coloquem problemas complexos de durabilidade. As fibras de amianto tiveram grande utilização em compósitos de matriz de cimento, e foram também usadas nalguns rebocos não-tradicionais, nomeadamente em França, nos anos 70. No entanto, como se sabe, estas fibras têm hoje o seu uso restringido por razões ecológicas e de saúde pública. As fibras de aço são também usadas no reforço de argamassas, mas não se conhecem aplicações em rebocos, tradicionais ou não-tradicionais. A necessidade de proteção anticorrosiva eficaz, já que as argamassas de reboco têm uma espessura reduzida e elevada permeabilidade ao ar, torna-as pouco competitivas [12, 22, 63].

### **Redes**

As redes são mais eficientes que as fibras dispersas como reforço de argamassas de reboco, conseguindo-se melhorias na resistência à fendilhação superiores às obtidas com igual volume de fibras dispersas da mesma natureza. Este facto é facilmente explicável, pois as fibras que constituem as redes são contínuas e, portanto, têm sempre comprimento superior ao comprimento crítico ( $l_{crit}$ ), logo o mecanismo de rotura por arrancamento das fibras é eliminado. No que diz respeito à forma, garante-se à partida, uma aderência à matriz mais eficaz permitindo, assim, uma boa incorporação, possibilitando uma ancoragem mecânica. Deste modo, a resistência das fibras das redes é melhor aproveitada, ou seja, são solicitadas forças mais próximas da sua resistência à rotura.

A nível europeu, no que se refere à utilização de redes em revestimentos de ligante mineral, as mais usadas na prática são as redes de fibra de vidro com proteção anti-alkalina, em geral, com recobrimento de resina acrílica ou de policloreto de vinilo (PVC), e as redes metálicas com proteção anti-corrosiva, que têm um funcionamento comparável à das armaduras de aço dos betões. As redes de fibra de vidro são fabricadas a partir de fibra de vidro E, pouco resistente ao ataque dos álcalis, que recebem depois uma proteção anti-alkalina que consiste num revestimento de resina vinílica ou acrílica ou, ainda, de PVC. Esta proteção tem uma eficácia limitada, uma vez que a rede incorporada na argamassa de revestimento, em ambiente húmido, vai perdendo resistência ao longo do tempo.

No nosso país, são também estes os tipos de redes os mais usados em obra, quer em rebocos tradicionais, quer em rebocos não-tradicionais, com o objetivo de aumentar a resistência à fendilhação.

Embora em menor escala, usam-se também nalguns países redes mistas de fibra de vidro e de aramida (conhecido comercialmente por Kevlar). Esta mistura procura aumentar a resistência à tração a longo prazo da rede, já que a fibra de vidro é atacada pelos álcalis do cimento, mesmo com proteção, enquanto que a aramida é inerte. Contudo, os preços deste material são muito elevados tornando esta solução pouco competitiva.



---

As redes de polipropileno, de poliéster e de poliamida também surgem nalguns casos, nomeadamente em revestimentos não-tradicionais, uma vez que são redes de baixa resistência mecânica e de grande deformabilidade.

As redes de polietileno de alta densidade, por sua vez, têm objetivos semelhantes aos das redes metálicas, tais como aumento da resistência do reboco e reforço da própria parede através da melhoria do funcionamento do conjunto alvenaria-revestimento. Estas redes têm uma rigidez elevada o que obriga à fixação mecânica à parede, como acontece com as redes metálicas, mas não apresentam as desvantagens destas últimas no que respeita à corrosão ou outro tipo de ataque químico [63].

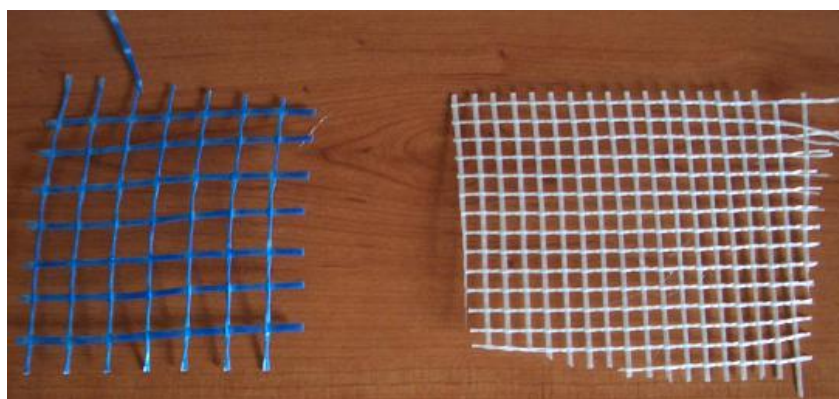


Figura 3.20 – Exemplos de redes de fibra de vidro

### 3.5.3. Técnicas de aplicação

As fibras dispersas são mais fáceis de aplicar do que as redes de fibras da mesma natureza, mas menos eficientes, pois, têm problemas de miscibilidade com a argamassa que é preciso resolver. Por outro lado, as redes têm custos de mão-de-obra mais elevadas, já que levam mais tempo a colocar e exigem a aplicação em duas demãos da camada que se destina a armar.

O modo de aplicação de um reboco armado com fibras não tem, em princípio, diferença do modo de aplicação de um reboco não-armado. No caso dos revestimentos pré-doseados com fibras, estas costumam estar já misturadas com os constituintes secos da argamassa, que tem também os adjuvantes necessários à boa miscibilidade das fibras. No caso dos rebocos doseados em obra, as fibras são adicionadas durante a amassadura, nuns casos no início com os constituintes ainda secos, mas mais frequentemente no fim, ou depois da adição de uma parte da água, para facilitar a mistura e evitar a degradação das fibras. Esta operação é delicada porque existe a possibilidade de formação de grumos e, se as fibras forem em quantidade excessiva, tiverem dimensões inadequadas (demasiado compridas ou finas) ou se o seu tratamento superficial dificultar a sua miscibilidade, a utilização de adjuvantes (um plastificante, por exemplo) pode reduzir este inconveniente e permitir a incorporação de uma dosagem superior de fibras [63].

Para atuar como reforço do reboco, a rede deve ser bem incorporada na camada a armar, entre duas demãos. A sua aplicação deve obedecer à seguinte sequência de operações [3]:



- Aplicação da 1ª demão da camada de revestimento a armar,
- Aplicação da rede, bem plana, sobre a demão ainda fresca,
- Passagem da colher sobre a rede, de forma a facilitar a sua incorporação na massa,
- Após secagem parcial da 1ª demão, aplicação da 2ª demão sobre a rede.

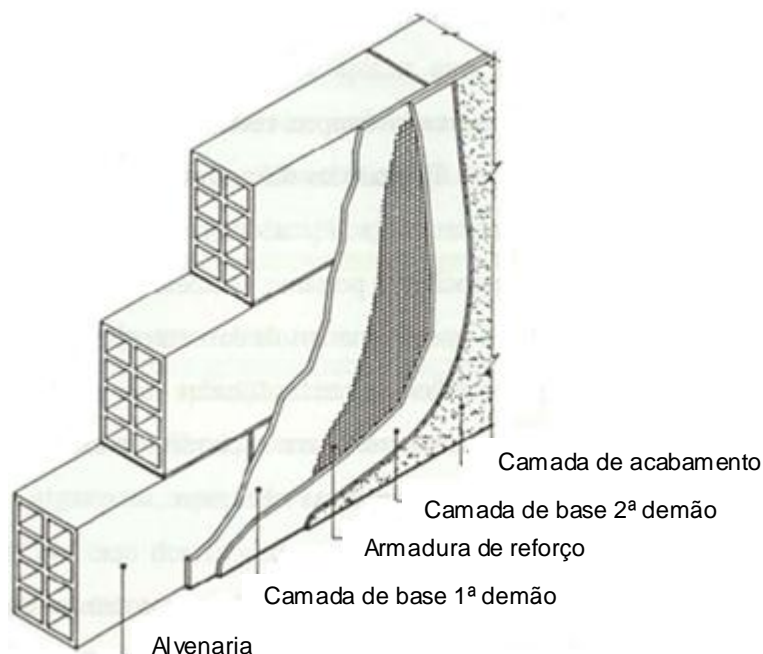


Figura 3.21 – Esquema ilustrativo de um reboco armado em zona corrente da parede [63]

Esta solução de reforço pode também ser aplicada em zonas limitadas do paramento que se consideram particularmente sujeitas a fendilhação, tais como [3]:

- As zonas heterogêneas do suporte, revestidas em continuidade (ligações alvenaria-estrutura), onde os diferentes coeficientes de dilatação térmica e os diferentes estados de carga e módulos de deformação tendem a provocar deslocamentos diferenciais e, portanto, tensões

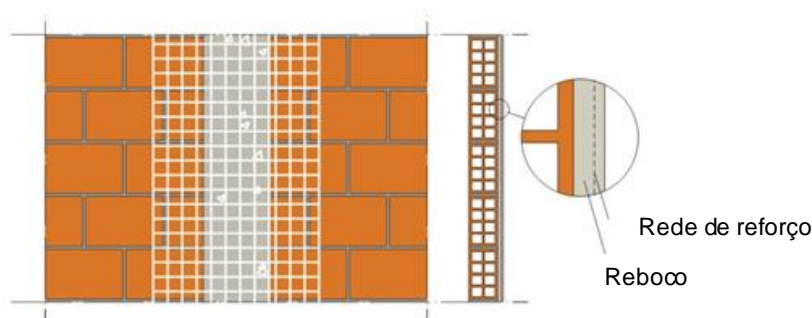
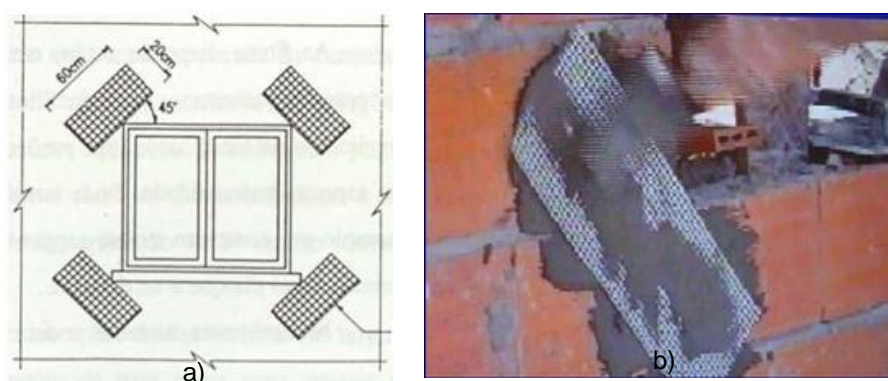


Figura 3.22 – Representação esquemática de um reboco armado em zona heterogênea do suporte [3]

- Os vértices dos vãos (que são pontos de concentração de tensões)



a) Representação esquemática da aplicação da rede [63]; b) Aplicação da rede no canto de uma janela [3]

Figura 3.23 – Reforço dos cantos de janelas

- Zonas do suporte superficialmente fendilhadas e zonas em que seja necessário fazer enchimentos localizados, usando camadas de reboco mais espessas que em zonas adjacentes

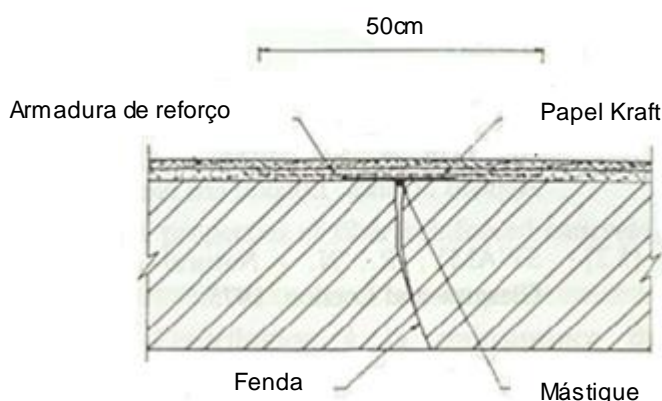


Figura 3.24 – Representação esquemática de um reboco armado para reparação de uma fenda [63]

As fibras dispersas estão mais vocacionadas para aplicação em zona corrente do paramento, e o seu uso pode justificar-se sempre que se pretenda garantir o não surgimento de fendilhação, dando um aspeto mais cuidado e contribuindo para a estanquidade global do paramento. Pode também ser recomendado o seu uso em rebocos fracos, em rebocos delgados por exemplo, para melhorar a sua resistência ao choque e ao desgaste. Naturalmente, as redes podem também ser usadas com estes últimos objetivos.

As armaduras constituídas por redes ou por fibras dispersas podem ter outras aplicações em revestimentos de paredes, nomeadamente como parte de sistemas de revestimento mais complexos e como armadura de rebocos tradicionais ou não-tradicionais, aplicados sobre suportes dimensionalmente instáveis [63].

### Custos de aplicação

Para a determinação dos custos desta solução consultaram-se várias empresas, em Outubro de 2012, de forma a comparar o preço dos diferentes tipos de rebocos a aplicar em paredes de edifícios novos. Na figura 3.25 apresentam-se os custos (materiais, equipamentos e mão-de-obra) em €/m<sup>2</sup>.

Os custos de aplicação desta solução dependem em grande parte do tipo de reboco utilizado, no caso dos rebocos tradicionais o preço da areia e do ligante são determinantes no custo final. O preço de um reboco tradicional armado acresce ainda, para além do preço da armadura de reforço, o preço da mão-de-obra, pois o rendimento dos operários é inferior.

No que diz respeito ao reboco não-tradicional, o preço da argamassa selecionada tem grande influência no preço final, a sua colocação é mais rápida que a solução tradicional pois, geralmente, é necessário apenas aplicação de uma camada de reboco. No caso de um reboco não-tradicional armado, o preço aumenta, tal como no caso anterior, devido ao preço da armadura de reforço escolhida. No entanto, o custo de mão-de-obra é mais baixo que na solução anterior.

De referir ainda que as soluções de reboco não-tradicional podem ser aplicadas por projeção, que reduz o tempo de aplicação e consequentemente diminui o preço de mão-de-obra. No entanto, a máquina de projetar tem um custo algo elevado.

Na figura seguinte representam-se alguns preços de aplicação de rebocos tradicionais e não-tradicionais armados.

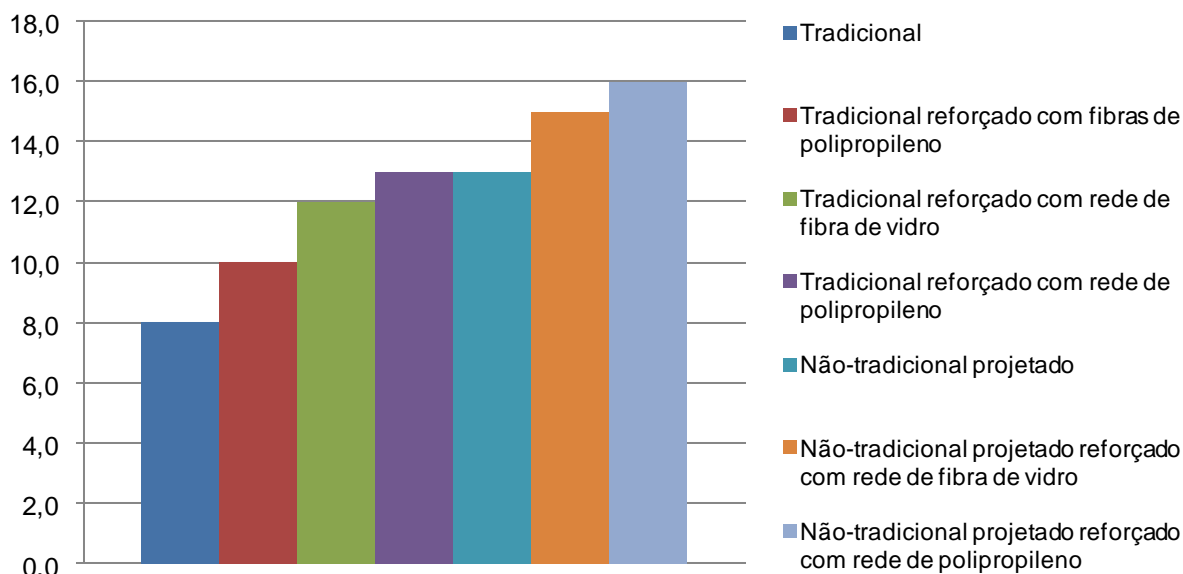


Figura 3.25 – Custos de aplicação de alguns tipos de rebocos (€/m<sup>2</sup>)

### Revestimentos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS)

A sigla ETICS designa, de acordo com a ETAG (*European Technical Approval Guideline*) guia de aprovação técnica europeia nº 004, os sistemas compósitos de isolamento térmico exterior com revestimento aplicado sobre isolante. De um modo geral, os sistemas de isolamento térmico exterior (fig. 3.26) são constituídos por uma camada de isolamento térmico aplicada sobre um suporte e um paramento exterior para proteção, em particular, das solicitações climáticas e mecânicas [3].

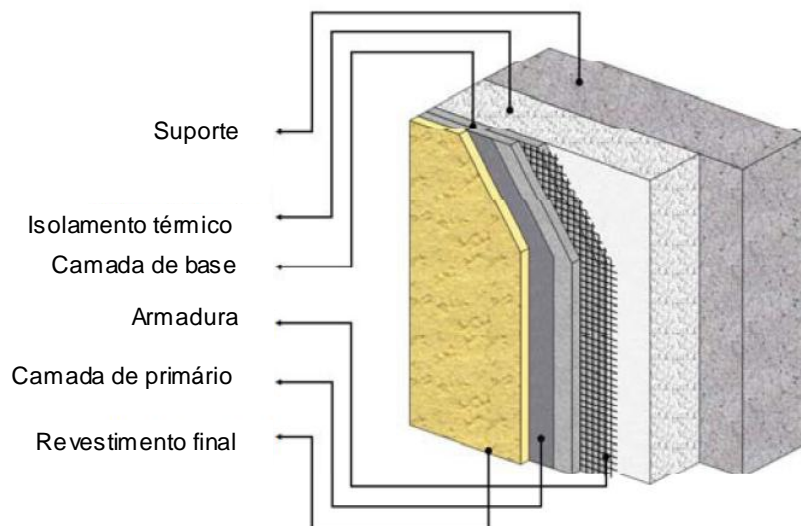


Figura 3.26 – Representação esquemática do sistema ETICS [3]

Mais especificamente, os sistemas ETICS são constituídos por [3]:

- Isolamento térmico, fixo diretamente à parede (através de colagem ou de fixações mecânicas)
- Elementos de fixação: cola, fixações mecânicas, ou ambos
- Camada de base de revestimento – mineral, ou mais frequentemente misto – aplicado sobre isolante, ficando aderente a ele
- Armadura normal, geralmente fibra de vidro, protegida contra a ação dos álcalis, e eventualmente, armadura de reforço, qualquer delas a embeber na camada de base do revestimento
- Acabamento com diferentes aspetos e texturas, geralmente orgânico
- Elementos adicionais: perfis de proteção de canto ou de extremidades (inferiores ou superiores)

Assim, estes sistemas envolvem toda a parede por fora, isolando e protegendo alvenarias e estrutura. Os constituintes decisivos para a adequabilidade ao uso do sistema são o isolante, o revestimento e o acabamento, que têm que ser compatíveis, para que o revestimento não fendilhe sob o efeito das solicitações térmicas. Os constituintes devem também contribuir para o bom desempenho global, ou seja, têm que ter características bem adaptadas ao funcionamento do sistema.

Este tipo de sistemas encontra-se em crescimento e desenvolvimento há cerca de uma década mas, tendo em conta a regulamentação referente ao comportamento térmico de edifícios em vigor, verifica-se uma utilização cada vez maior deste sistema [3].



Figura 3.27 – Exemplo de aplicação de um sistema ETICS [3]

Em Portugal foram introduzidos diferentes sistemas de isolamento térmico pelo exterior e pelo interior, sendo estes últimos menos correntes e normalmente utilizados em obras de reabilitação. A seleção do sistema de ETICS que melhor se adapta a cada situação específica deverá ser feita em função dos seguintes aspetos [3]:

- Tipo de suporte
- Zona climática e nível de conforto pretendido
- Tipo e espessura do isolante
- Exposição da parede de fachada (choques, vento e precipitação)
- Tipo de acabamento pretendido
- Regulamentação de incêndio

As principais vantagens que distinguem esta solução podem ser resumidas nos seguintes aspetos [3]:

- Redução das pontes térmicas
- Diminuição do risco de condensações
- Aumento da inércia térmica dos edifícios

Existe ainda um outro sistema designado de ITICS (*Internal Thermal Insulation Composite Systems*) Sistemas de Isolamento Térmico pelo Interior. Esta solução é utilizada em casos em que se pretende manter os revestimentos exteriores, no entanto, a sua utilização é bastante reduzida devido às desvantagens que apresenta, nomeadamente, diminuição da inércia térmica e diminuição do espaço interior [3].

---

### TRABALHOS EXPERIMENTAIS

#### 4.1. Considerações gerais

Neste capítulo são analisados alguns trabalhos de investigação sobre o comportamento de modelos experimentais de alvenarias antigas e novas, simples ou com aplicação de reforço, sujeitos a ensaios laboratoriais. Estes trabalhos foram realizados nos últimos anos, por unidades de investigação nacionais e internacionais.

Importa referir, no entanto, que os trabalhos analisados são apenas indicativos e pretendem enquadrar o estado atual do conhecimento nesta área.

#### 4.2. Trabalhos experimentais analisados

Esta apresentação está dividida em trabalhos de investigação sobre rebocos armados aplicados em suportes de alvenaria de pedra, alvenaria de tijolo cerâmico e blocos de betão. Os trabalhos analisados são os seguintes:

##### **Rebocos armados aplicados em suportes de alvenaria de pedra**

- Paredes de alvenaria ordinária – Estudo experimental com modelos simples e reforçados. Trabalho realizados por F. Pinho. na sua tese de doutoramento, em Portugal, na Faculdade de Ciências e Tecnologia em 2007.
- Seismic retrofit of masonry buildings with polymer grid. Trabalho realizado por A. Dusi onde se realizaram ensaios de compressão diagonal e corte em muretes com e sem reforço. Estudo efetuado em Itália no ano de 2008.
- Experimental and numerical analysis of stone masonry walls strengthened with advanced composite materials. O trabalho experimental efetuado por D. Estévez na sua tese de sua tese de doutoramento, onde se realizou um ensaio de compressão excêntrica. Estudo realizado no centro tecnológico LABEIN, Derio, Espanha em 2009.
- Shaking table tests of two different reinforcement techniques using polymeric grids on an asymmetric limestone full-scaled structure. O trabalho foi desenvolvido por R. Bairrão e M. Silva tendo ensaiado um modelo à escala na mesa sísmica. Estudo elaborado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Portugal em 2009.

- 
- Experimental testing, numerical modelling and seismic strengthening of traditional stone masonry: comprehensive study of a real Azorian pier. No programa experimental realizado por A. Costa *et al*, foi efetuado um ensaio cíclico numa alvenaria real. Estudo desenvolvido no Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural, Portugal 2010.

#### **Rebocos armados em suportes de alvenaria de tijolo cerâmico**

- Improving ductility and energy-dissipation capacity of infills by means of polymeric nets. A solução de reforço com reboco armado, foi testada por C. Colombo, *et al* através da realização de um ensaio cíclico. Trabalho realizado em Itália, 2000.
- Reabilitação de parede de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada. No estudo elaborado por F. Oliveira foram ensaiadas três tipologias de paredes à compressão simples. Estudo desenvolvido no Brasil, em 2001.

#### **Rebocos armados aplicados em alvenarias de tijolo cerâmico e blocos de pedra**

- Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels. O programa experimental realizado por C. Papanicolaou, *et al* teve como objetivo avaliar o comportamento de um reboco armado em diferentes suportes. Estudo desenvolvido na Grécia, em 2010.

#### **Reforço de argamassas com fibras curtas**

- Reforço de rebocos com fibras dispersas de sisal. O estudo de L. Dias *et al* tem como objetivo avaliar o uso de fibras de sisal através de ensaios de compressão e flexão de provetes. Trabalho realizado em Portugal, em 2010.
- Use of steel fiber reinforced mortar for seismic strengthening. No trabalho de T. Sevil *et al* foram realizadas 4 misturas de argamassas com diferentes percentagens de fibras de aço de forma a submeter um murete a um ensaio cíclico. Estudo efetuado na Turquia, em 2011.

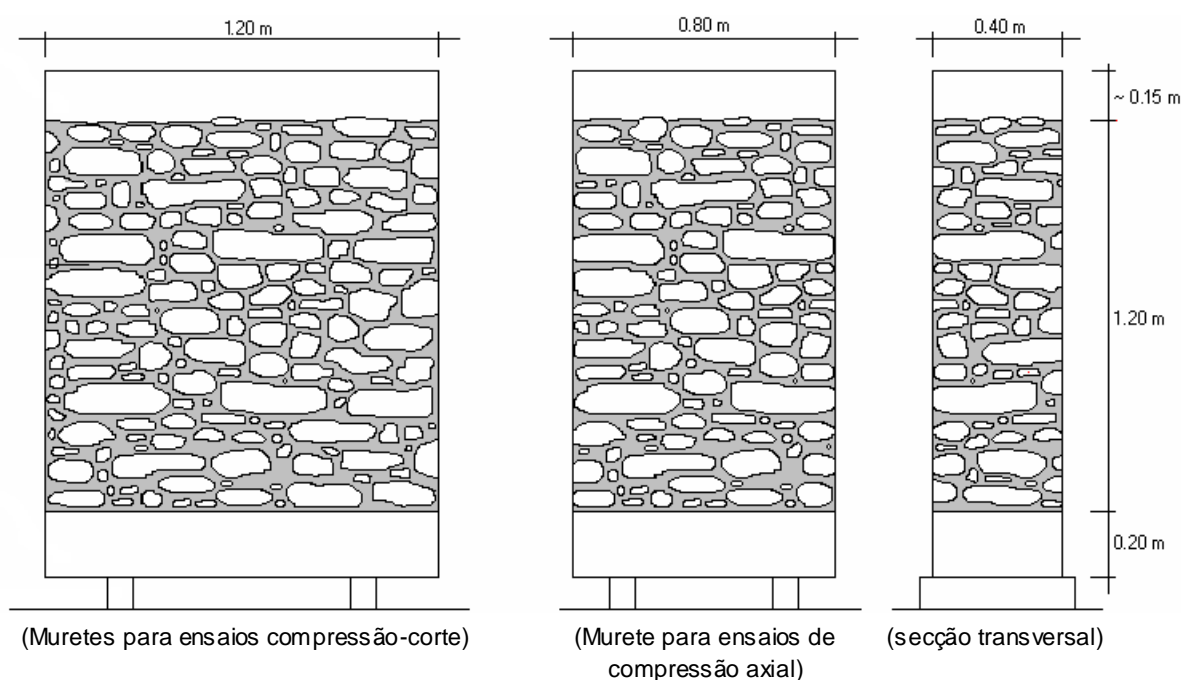
#### **4.2.1. Rebocos armados aplicados em suportes de alvenaria de pedra**

- **Paredes de alvenaria ordinária – Estudo experimental com modelos simples e reforçados [48]**

O trabalho de investigação de F. Pinho [48] tem como objetivo avaliar a eficácia do reforço de muretes de alvenaria de pedra irregular com reboco armado e confinamento transversal. Para a realização deste estudo, foram construídos vários muretes de pedra calcária e argamassa de cal e areia com traço volumétrico 1:3.



As dimensões dos modelos construídos dependem do ensaio a que se destinam: para os ensaios de compressão-corte são 1,20m; 1,20m; 0,40m (altura; largura; espessura), para o ensaio de compressão axial as dimensões são 1,20m; 0,80m; 0,40m, fig. 4.1. De referir ainda que três muretes de cada grupo foram ensaiados sem reforço, sendo os valores registados de controlo, e para comparação com os valores obtidos nos modelos reforçados [48, 49, 50].



Em cima – Construção dos muretes; Em baixo – Representação esquemática dos muretes

Figura 4.1 – Construção dos muretes e suas dimensões [48, 49, 50]

Os muretes são reforçados, como já foi referido anteriormente, com reboco armado e confinamento transversal, tendo sido realizadas algumas variantes de aplicação destas técnicas, fig. 4.2. As variantes do reforço foram as seguintes:

- Solução II-B1 – Reboco armado com rede metálica e pregagens apenas numa das faces do murete

- Solução II-B2 – Reboco armado com rede metálica e pregagens nas duas faces do murete
- Solução II-B3 – Reboco armado com rede metálica nas duas faces do murete e conetores transversais
- Solução III-A2 – Reboco armado com rede metálica nas duas faces do murete com ligação à base em betão
- Solução IV – Reboco armado com rede de fibra de vidro nas duas faces do murete e conetores transversais

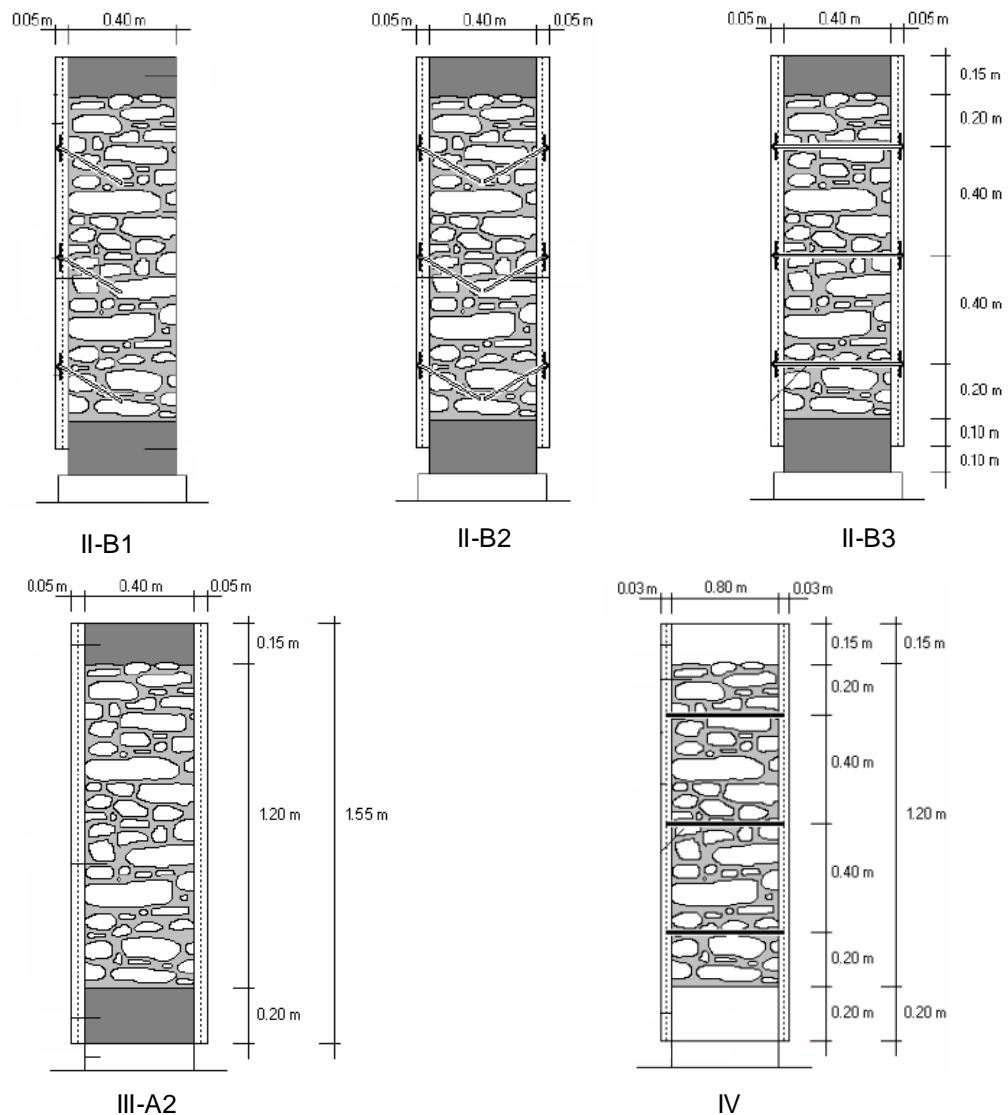
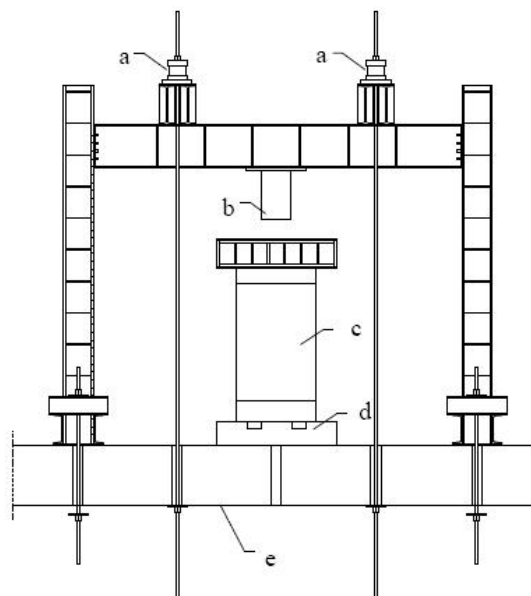


Figura 4.2 – Representação esquemática das soluções de reforço estudadas por F. Pinho [48, 49, 50]

### Ensaio de compressão axial

Todos os modelos foram sujeitos a um carregamento sucessivamente maior até se atingir o colapso. Alguns muretes, no entanto, foram sujeitos a uma segunda aplicação da carga (após o colapso). Os muretes de referência foram ensaiados previamente de forma a comparar os valores de força máxima e deslocamento máximo dos espécimes com e sem reforço. A média de valores dos três muretes sem reforço ensaiados foi:  $F_{v_{max}}=136,8\text{kN}$  e  $\delta_{v_{max}}=5,8\text{mm}$ .



a) Aplicadores de carga; b) cilindro hidráulico; c) murete; d) base do equipamento; e) base de fixação do equipamento

Figura 4.3 – Ensaio de compressão axial realizado por F. Pinho [48, 49, 50]

Para a solução de reforço II-B1 foram ensaiados quatro muretes (M30, M42, M51, M53). No gráfico seguinte (fig. 4.4) observa-se o comportamento dos mesmos, onde se representa por linhas espessas o primeiro carregamento e a linhas finas o carregamento pós-colapso. Os resultados obtidos são muito dispersos, o que significa que o desempenho desta solução depende da eficácia das pregagens. A média de valores das forças verticais máximas ( $F_{v_{max}}$ ) foi de 291kN

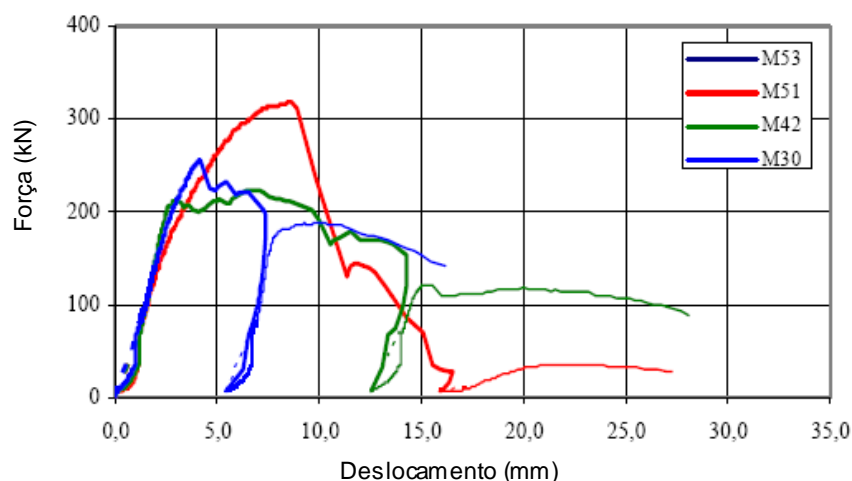


Figura 4.4 – Gráfico força-deslocamento da solução II-B1 [48, 49, 50]

No teste efetuado à solução II-B2 foram ensaiados dois muretes (M22, M33). No modelo M33 pode observar-se no gráfico seguinte (fig. 4.5) o comportamento do murete ao primeiro carregamento (linha espessa) e ao carregamento pós-colapso (linha fina), tendo como valores de  $F_{v_{max}}=362,2\text{kN}$ . Neste

ensaio, o reboco armado do murete M22 tinha uma ligação parcial à base de betão o que resultou num aumento substancial da resistência do murete, atingindo uma  $F_{v_{max}}=485\text{kN}$ .

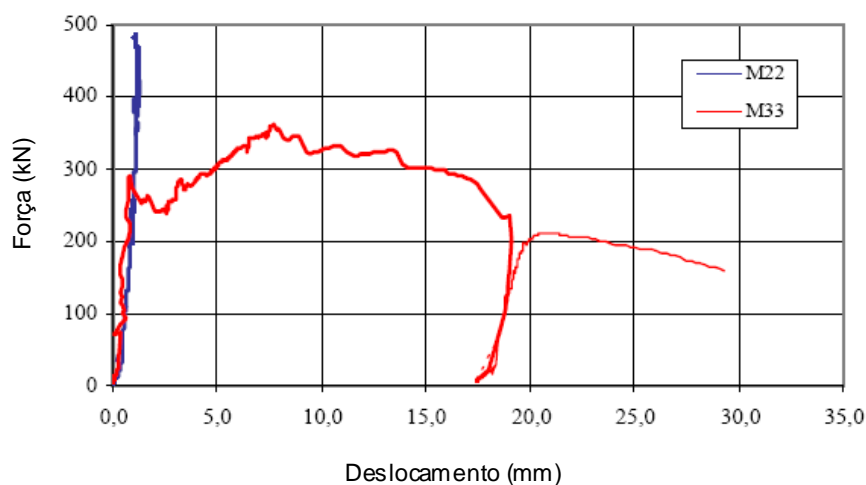


Figura 4.5 – Gráfico força-deslocamento da solução II-B2 [48, 49, 50]

Para a solução de reforço II-B3 ensaiaram-se três muretes (M26, M52, M54). No gráfico seguinte (fig. 4.6) é possível observar que este grupo de muretes reforçados apresenta uma resistência mecânica superior (valor médio de  $F_{v_{max}}=541,2\text{kN}$ ) às soluções anteriormente testadas. Verifica-se também que o uso de conectores é mais eficaz que o uso de pregagens. Em termos de ductilidade, esta solução apresenta o melhor comportamento, sendo o principal responsável o confinamento do murete conseguido através do reboco armado e dos conectores transversais.

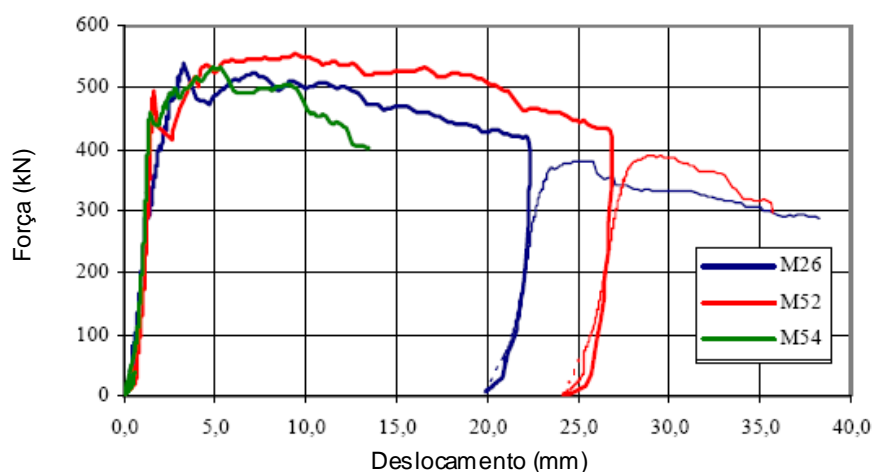


Figura 4.6 – Gráfico força-deslocamento da solução II-B3 [48, 49, 50]

A solução de reforço III-A2 foi submetida ao mesmo tipo de ensaio (M24, M25, M55), no entanto, não foi aplicada carga pós-colapso. No gráfico seguinte (fig. 4.7) verifica-se que, comparando com as soluções anteriores, a resistência mecânica é bastante superior, mas os deslocamentos máximos foram bastante inferiores, com valores médios, respetivamente,  $F_{v_{max}}=1894,4\text{kN}$  e  $\delta v_{max}=3,9\text{mm}$ . Esta

diferença deve-se à ligação do reforço do murete com a base, o que demonstra a importância das fundações para o comportamento deste tipo de alvenaria.

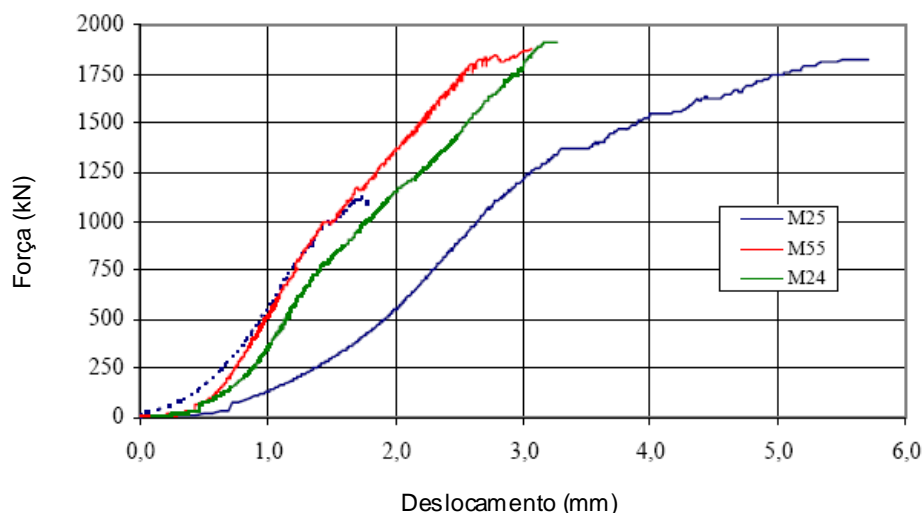


Figura 4.7 – Gráfico força-deslocamento da solução III-A2 [48, 49, 50]

Os muretes reforçados com a solução de reforço IV (M27, M29, M34) demonstraram uma resistência elevada, verificando-se um valor médio de carregamento máximo de 440,3kN e  $\delta_{v_{max}}=4,9\text{mm}$ . No gráfico seguinte (fig. 4.8) representam-se os resultados obtidos no ensaio aos muretes reforçados.

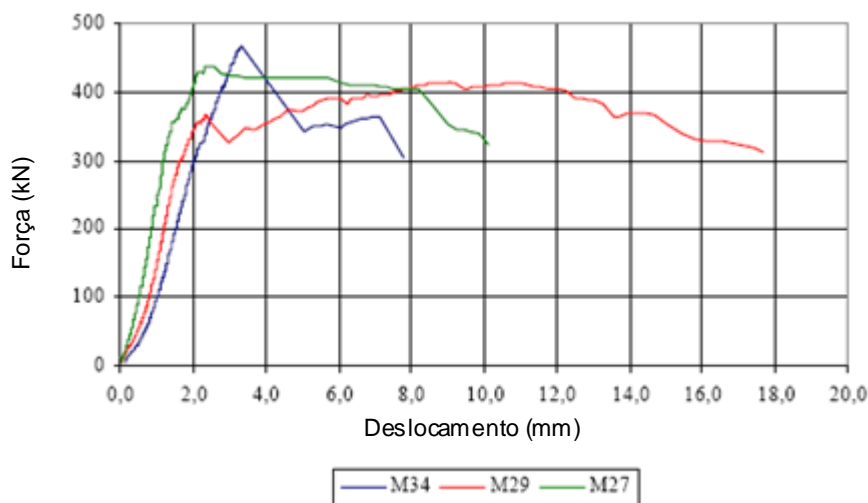
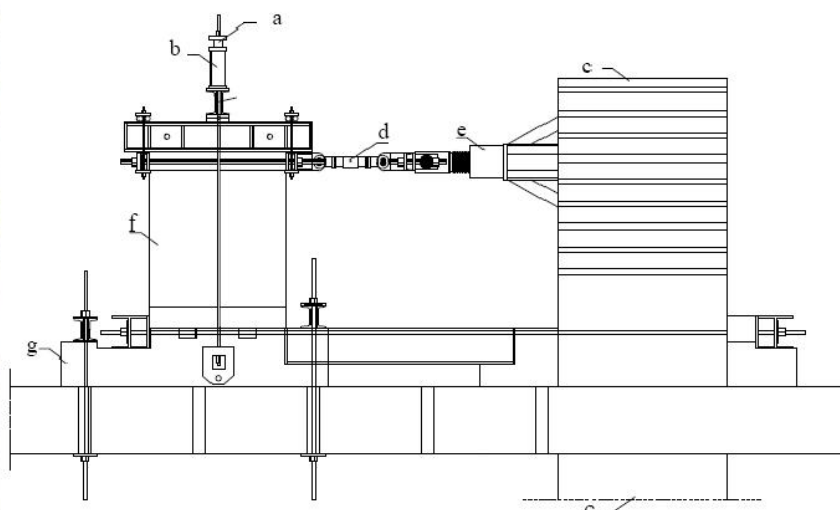


Figura 4.8 – Gráfico força-deslocamento da solução IV [48, 49, 50]

### Ensaio de compressão-corte

Ensaíram-se três muretes da solução II-B3: dois deles, M15 e M16, foram submetidos ao ensaio cíclico e um, M18, a um ensaio de carga alternada. Foram também ensaiados 3 muretes reforçados com a solução IV à compressão-corte simples. Os muretes de referência ensaiados previamente registaram os seguintes resultados:  $F_{v_{média}}=109,2\text{kN}$ ,  $F_{h_{max}}=23,8\text{kN}$ ,  $\delta_{h_{max}}=3,8\text{mm}$ .



a) Carga vertical; b) cilindro hidráulico; c) Parede resistente; d) carga horizontal; e) atuador; f) murete; g) Base do equipamento

Figura 4.9 – Ensaio de compressão-corte realizado por F. Pinho [48, 49, 50]

Os três modelos foram carregados até atingirem o colapso, o murete M16 foi submetido a um segundo carregamento pós-colapso. Este ensaio permitiu constatar o bom comportamento da solução de reforço II-B3, nomeadamente, em termos de resistência a esforços de corte, sendo os valores médios registados:  $F_{v\text{médio}}=360\text{kN}$ ,  $F_{h\text{max}}=99\text{kN}$ . Os resultados dos ensaios aos muretes testados são apresentados no gráfico seguinte.

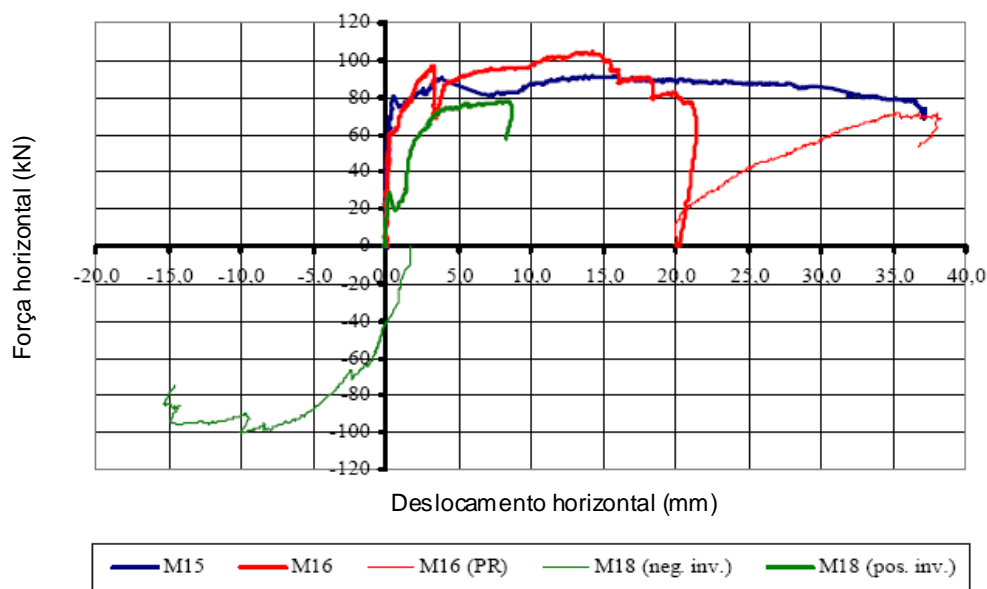


Figura 4.10 – Gráfico força-deslocamento da solução II-B3 [48, 49, 50]

O gráfico seguinte (fig. 4.11) representa os resultados obtidos no ensaio aos muretes reforçados com a solução IV (M11, M14, M19). Estes muretes evidenciaram um comportamento dúctil, nomeadamente, o murete M14, que atingiu um valor de 38mm de deslocamento horizontal. Em



termos de cargas máximas chegou-se a um valor de  $F_{v\text{média}}=330\text{kN}$  e  $F_{h\text{max}}=72\text{kN}$  (valor médios dos 3 muretes).

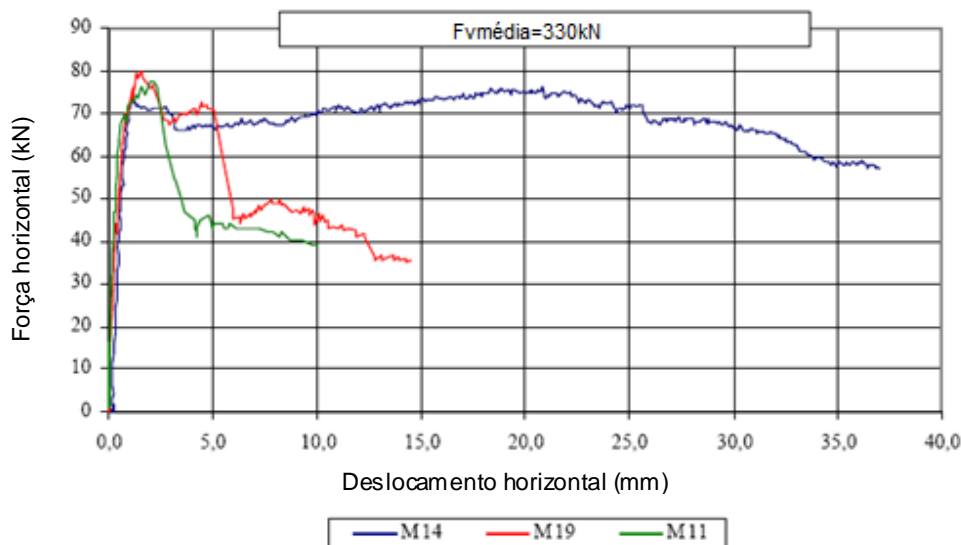
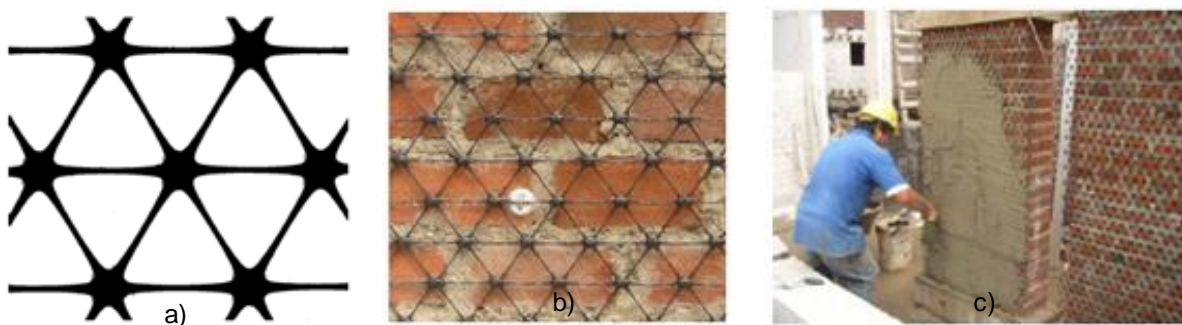


Figura 4.11 – Gráfico força-deslocamento da solução de reforço IV [48, 49, 50]

- **Seismic retrofit of masonry with polymer grid [37]**

O estudo realizado por A. Dusi *et al* [37], tem como objetivo a avaliação das redes plásticas ou poliméricas (sistema *Richtergard*) para reforço dos edifícios de alvenaria antigos. Estes representam uma opção capaz de superar algumas deficiências de outros materiais utilizados no fabrico das redes, como por exemplo, a corrosão das redes em aço ou os ataques alcalinos, que diminuem a durabilidade das redes de fibra de vidro.

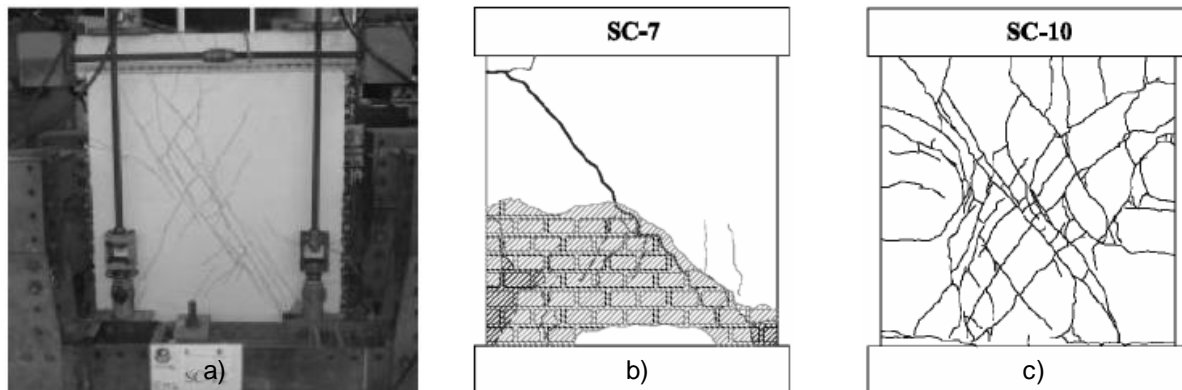


a) Representação esquemática da rede polimérica; b) Aplicação da rede; c) Aplicação do reboco

Figura 4.12 – Reforço de uma alvenaria com rede polimérica [37]

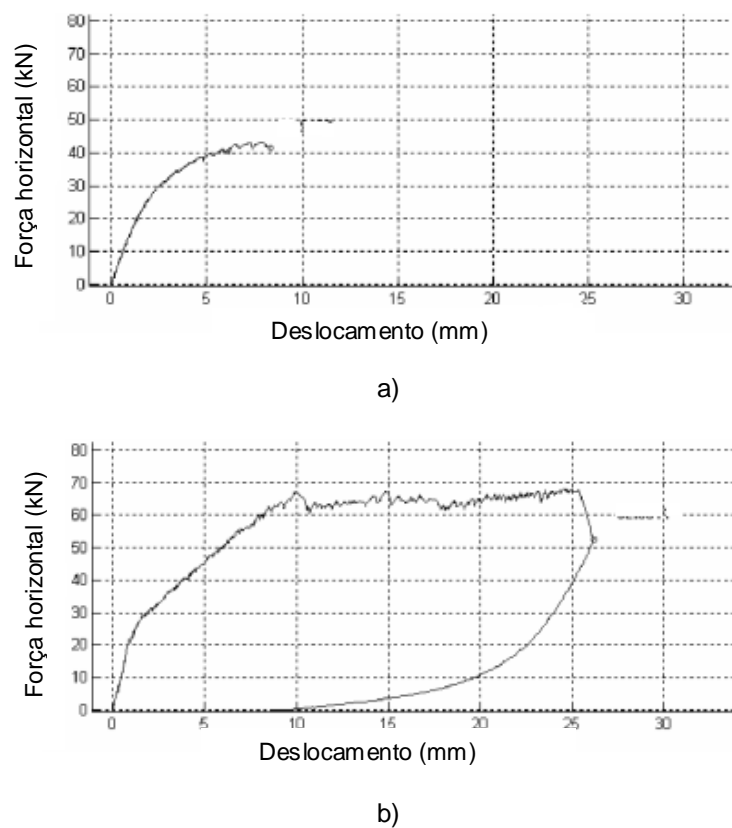
Resumidamente, o estudo adotou os seguintes parâmetros: utilização de uma rede polimérica e reboco à base de cal; efetuaram-se testes com o objetivo principal de avaliar a influência dos rebocos armados como solução de reforço, com particular atenção ao comportamento a ações horizontais;

comparação de paredes de alvenaria com e sem reforço; realização de dois ensaios: compressão diagonal e compressão-corte.



a) Murete reforçado após ensaio; b) Representação dos danos do murete sem reforço; c) Representação dos danos do murete com reforço.

Figura 4.13 – Ensaio de compressão-corte realizado por A. Dusi [37]



a) Resultado do ensaio do murete sem reforço; b) resultado do murete com reforço

Figura 4.14 – Gráficos força-deslocamento do ensaio de compressão-corte [37]



No ensaio de compressão diagonal, verificou-se que o estado último de deformação nos painéis reforçados aumentou bastante indicando, assim, a contribuição positiva para a ductilidade global das paredes de alvenaria. Por outro lado, não se verificou aumento significativo da resistência.

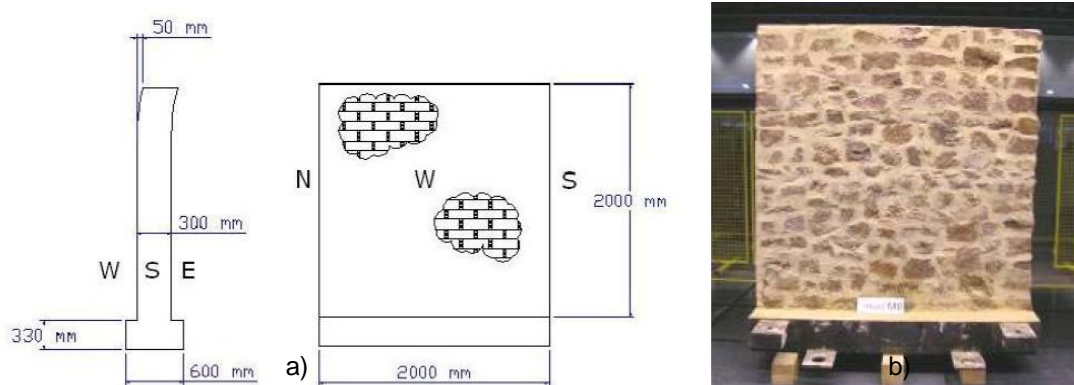
No ensaio de compressão-corte, fig. 4.14, por sua vez confirmaram-se os resultados obtidos no ensaio anterior. Os painéis reforçados apresentaram um grande número de superfícies de falha e, portanto, um valor maior de força máxima. Este ensaio confirmou ainda o efeito positivo da rede no aumento da ductilidade dos painéis através de um aumento significativo da capacidade de dissipar energia. De destacar também o facto da resistência ao corte ter atingido um valor importante, tendo em conta que é nulo nos painéis sem reforço.

No que diz respeito à estabilidade dos painéis, verificou-se um efeito positivo em todos os parâmetros mecânicos significativos, carga máxima, deslocamento máximo e ductilidade. A contribuição favorável da rede faz-se notar também na fissuração, através da mitigação dos danos de pico e aumento da dissipação de energia, devido ao dissipar das áreas afetadas. De destacar o comportamento fora do plano dos painéis de alvenaria, demonstrando uma melhoria de resistência contra a formação de mecanismos de colapso.

- **Experimental and numerical analysis of stone masonry walls strengthened with advanced composite materials [23]**

O programa experimental efetuado por D. Estévez [23], relativo a alvenarias de pedra irregular de múltiplas folhas, foi realizado no centro tecnológico LABEIN, Derio, Espanha. Foram construídas muretes com o objetivo de serem submetidos a ensaios de compressão excêntrica.

Os muretes foram construídos em pedra irregular e argamassa de assentamento de cimento branco, cal e areia, com traço volumétrico 1:3:38. Têm como dimensão 2,0m de largura, 2,0m de altura e 0,3m de espessura, fig. 4.15..



a) Representação geométrica do modelo de alvenaria; b) Alvenaria pronta para ser submetida ao ensaio

Figura 4.15 – Modelo de alvenaria construído por D. Estévez [23]

Uma das paredes construídas foi reforçada recorrendo a uma solução TRM (*textile reinforced mortar*), sendo a armadura utilizada uma rede de fibras de basalto, em conjunto com confinamento transversal através de conetores CFRP (*carbon fibre reinforced polymer*) com 7,5mm de diâmetro.

A metodologia adotada foi, em primeiro lugar, a colocação dos conetores transversais, e de seguida o revestimento da alvenaria com a solução TRM, figura 4.16. A aplicação desta última técnica de reforço pode ser dividida em seis passos: a) definição dos locais dos dispositivos de ancoragem, com espaçamentos de 0,4m aproximadamente; b) colocação dos dispositivos de ancoragem; c) aplicação da primeira camada de reboco com cerca de 1,0cm; d) colocação da rede de fibras de basalto; e) amarração da rede aos dispositivos previamente colocados; f) aplicação da camada de reboco final. Importa referir que o traço volumétrico utilizado na argamassa de reboco foi 2:1:12 (cimento branco: cal: areia)



a) Definir espaçamentos; b) Colocação de ancoragens; c) 1ª camada de reboco; d) Colocar a rede; e) Amarrar a rede às ancoragens; f) Camada final de reboco

Figura 4.16 – Aplicação da solução de reforço TRM [23]

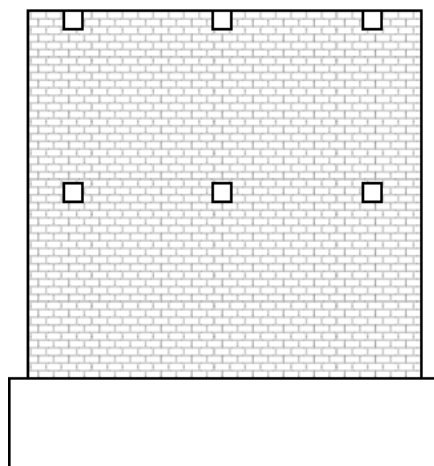


Figura 4.17 – Localização dos conectores transversais CFRP [23]

No ensaio realizado à parede sem reforço, registou-se um carregamento máximo de 188kN, tendo-se iniciado a separação dos panos de alvenaria aos 122kN e, aos 174kN, observou-se o aparecimento de fendas horizontais no revestimento.



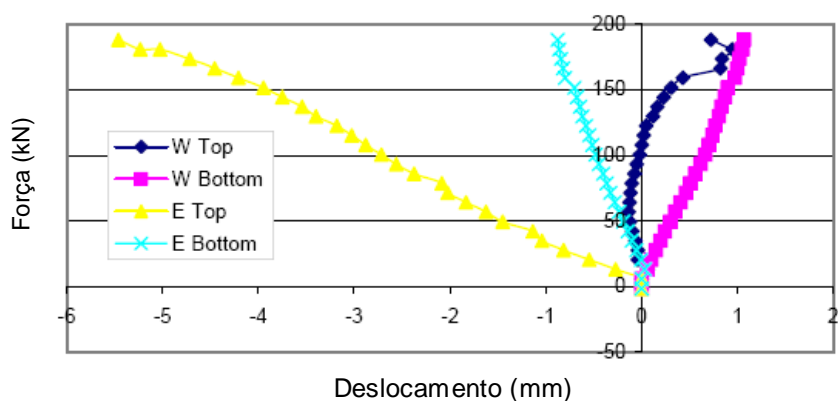
Figura 4.18 – Evolução dos danos na parede sem reforço [23]

A parede reforçada registou um carregamento máximo de 188kN. Aos 114kN observou-se o início da separação dos panos da alvenaria e aos 142kN a fissuração horizontal apareceu no revestimento exterior.

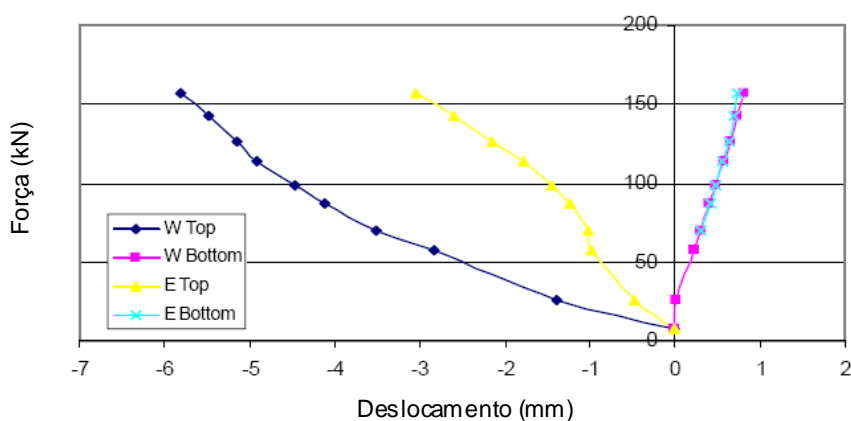


Figura 4.19 – Evolução dos danos na parede reforçada [23]

O reforço da alvenaria de pedra irregular com uma solução de reboco armado (TRM) e confinamento transversal, no ensaio de compressão excêntrica, não demonstrou melhorias na capacidade resistente da parede. Comparando os valores dos dois gráficos seguintes, alvenaria sem reforço figura 4.20 a) e com reforço figura 4.20 b), não se verificam diferenças na carga última atingida no ensaio, observou-se um aumento do deslocamento máximo na parede reforçada e a rotura foi dúctil ao contrário da alvenaria sem reforço, que apresentou uma rotura frágil.



a)



b)

a) Gráfico da alvenaria sem reforço; b) Gráfico da alvenaria reforçada

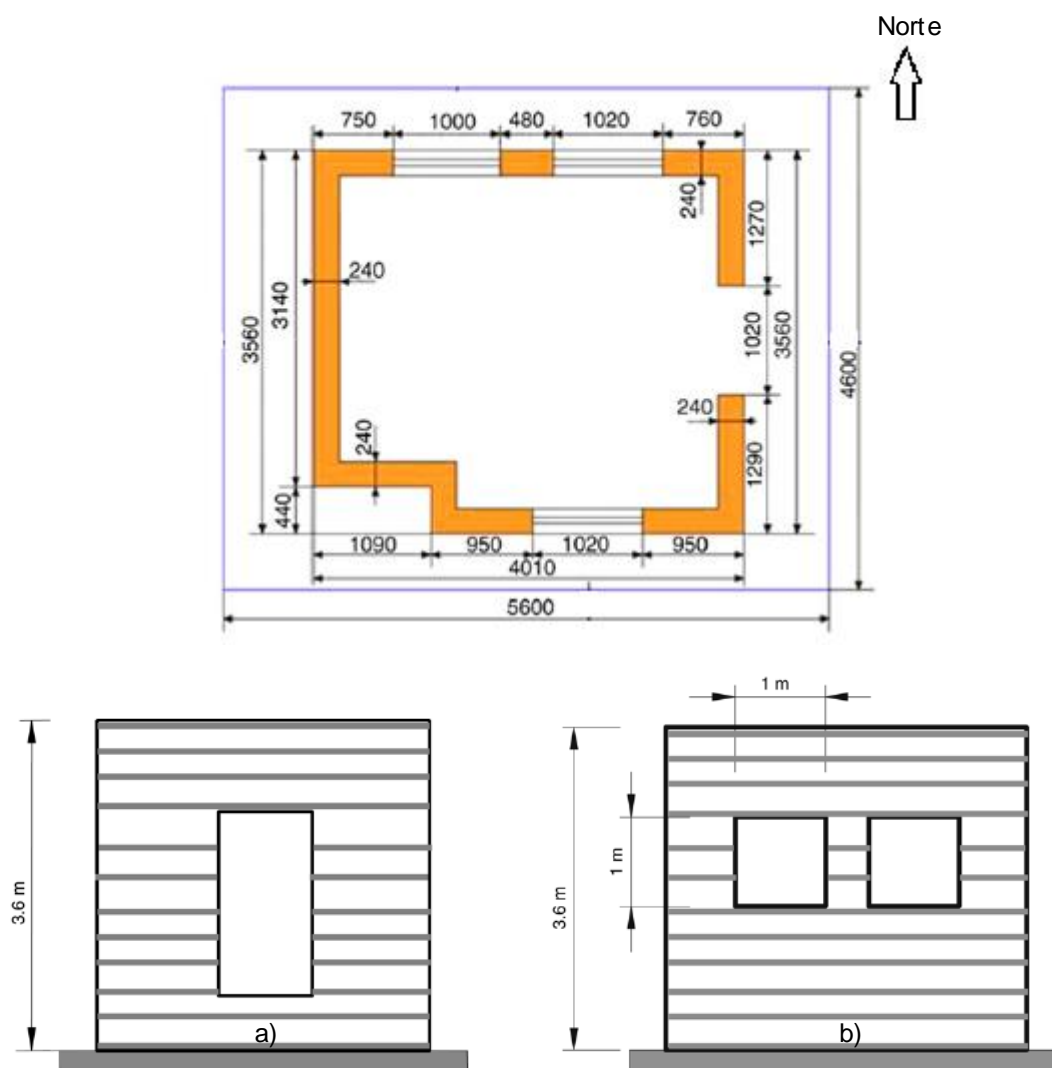
Figura 4.20 – Gráficos força-deslocamento das alvenarias com e sem reforço [23]

- **Shaking table tests of two different reinforcement techniques using polymeric grids on an asymmetric limestone full-scaled structure [7]**

Neste trabalho pretendeu reforçar-se a alvenaria de pedra calcária aparelhada com reboco armado, utilizando uma rede polimérica. Foi ainda realizada uma análise ao comportamento do reforço horizontal, na zona das juntas com o mesmo tipo de rede. O trabalho foi realizado por R. Bairrão e M. Silva [7] insere-se no âmbito do projeto “melhoria da resistência sísmica e durabilidade de edifícios de alvenaria de pedra”, do LNEC.



O modelo testado foi construído com paredes de alvenaria de pedra calcária aparelhada e juntas horizontais reforçadas, as paredes têm uma altura de 3,6m e uma espessura de 0,24m, fig. 4.21. No que diz respeito aos materiais utilizados, como já foi referido, as alvenarias são constituídas por pedra calcária aparelhada, a argamassa de classe M1, com traço volumétrico 1:2:9 (cimento, cal, areia)



Em cima – Dimensões em planta [mm]; Em baixo – a) Dimensões da fachada oeste [m]; b) Dimensões da fachada norte [m]

Figura 4.21 – Representação das dimensões do modelo construído por R. Baião e M. Silva [7]

O modelo construído foi sujeito a duas fases de ensaios: a primeira fase foi executada com um modelo apenas reforçado com rede polimérica na zona das juntas. Este reforço foi colocado horizontalmente, com espaçamentos entre 0,24m e 0,40m. Depois da primeira fase, retirou-se o modelo à escala da mesa de testes e efetuou-se o reforço vertical, utilizando a mesma rede do reforço das juntas. Este confinamento imposto tem como objetivo melhorar a resistência à compressão e ao corte e apresenta ainda características superiores quando combinado com reforço horizontal na zona das juntas, como é o caso em estudo.



a) Construção do modelo; b) Fixação da rede; c) Modelo reforçado; d) Aplicação do reboco

Figura 4.22 – Construção e reforço do modelo [7]

Durante a primeira fase, fig. 4.23, os danos verificados situam-se principalmente na zona inferior do modelo, ou seja, na zona de ligação com a base em betão. No final desta fase, os danos mais expressivos são a fissuração generalizada com maior ênfase na zona das aberturas, porta e janelas, com especial atenção para a zona dos cantos das mesmas.

Numa segunda fase, fig.4.24, já com o modelo reforçado, verificou-se aparecimento da fissuração generalizada, tal como na primeira fase, e nos mesmos locais, ou seja, na zona inferior de ligação com a base e na zona dos cantos das aberturas. No entanto, as fissuras apresentam muito menor dimensão e são em menor quantidade, a fissuração existente é bastante mais fina e em menor densidade, o que significa que não houve movimento dos blocos de pedra e que as tensões normais se distribuíram de forma uniforme pelos reforços horizontais. A fissuração é de uma forma geral, vertical, e está presente apenas na zona do reboco, não chegando a atingir os blocos de pedra. Não se verificou presença de fissuração inclinada, o que significa boa resistência a esforços de corte, característica claramente fornecida pela rede de reforço.



Figura 4.23 – Danos após a primeira fase do trabalho [7]

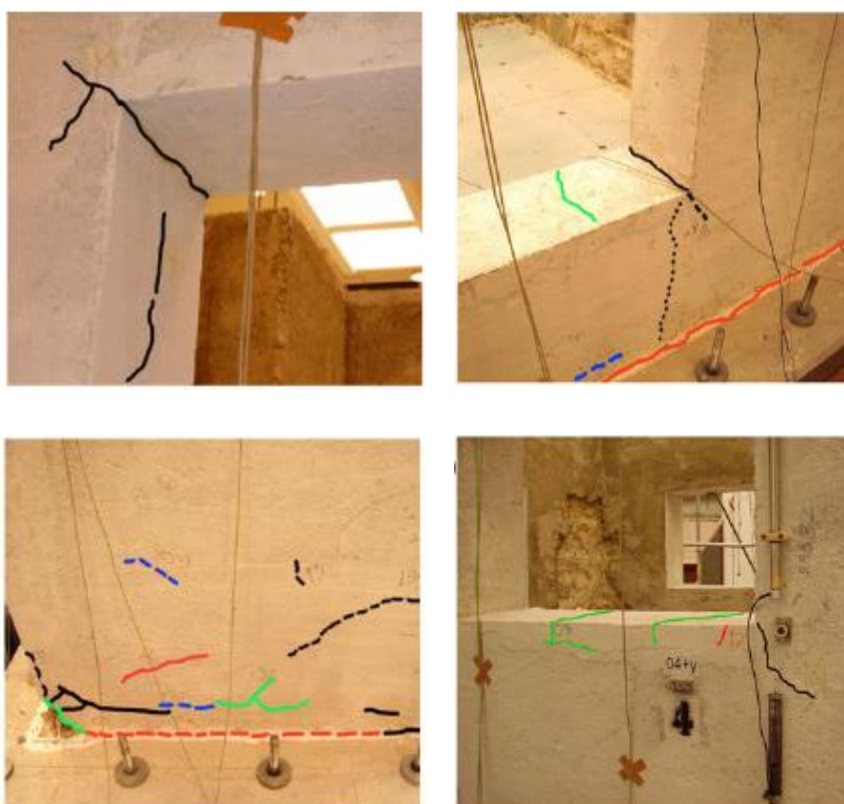


Figura 4.24 – Danos após a segunda fase [7]

A distribuição das fissuras tem menor expressão na parte inferior do modelo do que na parte superior, sendo facilmente justificado pelo facto do modelo estar fixo na zona inferior e livre na zona superior, permitindo fenómenos de torção. Na zona das aberturas a fissuração passou a ter muito menor expressão depois do reforço, verificando-se apenas maior densidade de ocorrência na zona inferior das janelas.

- **Experimental testing, numerical modelling and seismic strengthening of traditional stone masonry: comprehensive study of a real Azorian pier [16]**

O programa experimental realizado por A. Costa *et al* [16] tem como objetivo avaliar o comportamento sísmico de uma alvenaria de pedra irregular. Para a realização dos ensaios utilizou-se uma alvenaria real de uma construção, situada nos Açores, Ilha do Faial, conselho da Horta, que sofreu colapso parcial no sismo de 1998, fig. 4.25.



a) Vista geral; b) Local escolhido da recolha da alvenaria; c) Secção transversal da alvenaria

Figura 4.25 – Localização original da parede [16]

A alvenaria recolhida estava localizada no piso térreo, entre duas portas, na fachada do edifício. A parede apresenta uma tipologia de duas folhas (ou panos), muito comum em todo o arquipélago, sendo constituída por pedras basálticas e material de enchimento pobre, argila e pedras de pequenas dimensões. O processo de preparação da alvenaria iniciou-se com a sua extração do edifício por corte e posterior estabilização, recorrendo a uma estrutura de aço. Deste modo, foi possível transportar a parede para o Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural (LESE), situado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, local onde se realizaram os ensaios.

No laboratório a alvenaria foi preparada para os ensaios, construindo-se uma base em betão simulando a fundação da parede e no topo foi colocada uma estrutura de aço que tem como objetivo distribuir as cargas verticais e horizontais durante o ensaio. A parede tem como dimensões, 1,50m de largura, 0,70m de espessura e 1,20m de altura.



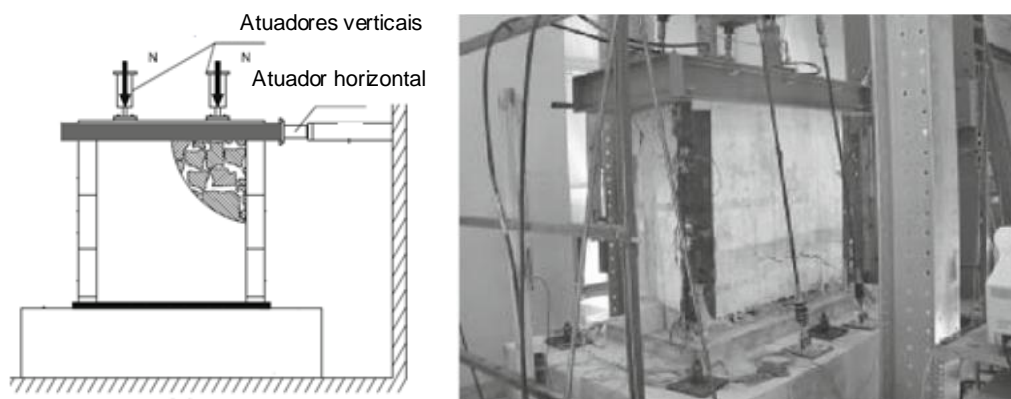
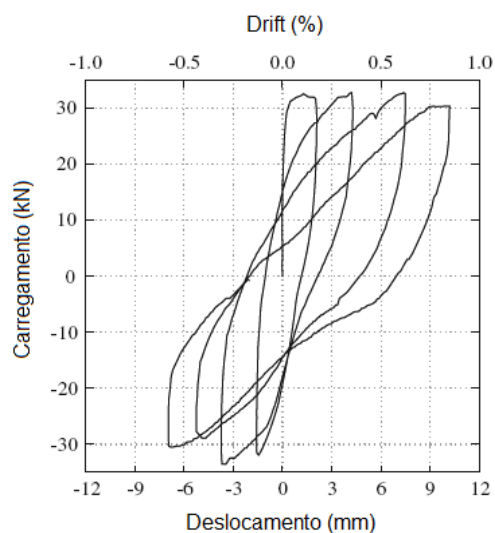


Figura 4.26 – Ensaio de compressão-corte da parede de alvenaria [16]

O comportamento da parede, depois de realizado o ensaio de compressão-corte (cíclico), fig.4.27, apresentou fendas diagonais e horizontais, típicas deste tipo de alvenaria devido ao seu mau comportamento a esforços de corte. Importante referir que não se verificou desagregação do revestimento exterior nem separação das folhas (ou panos) da alvenaria.



a)



b)

a) Alvenaria após realização do ensaio; b) Gráfico carregamento-deslocamento

Figura 4.27 – Resultado do ensaio realizado por A. Costa [16]

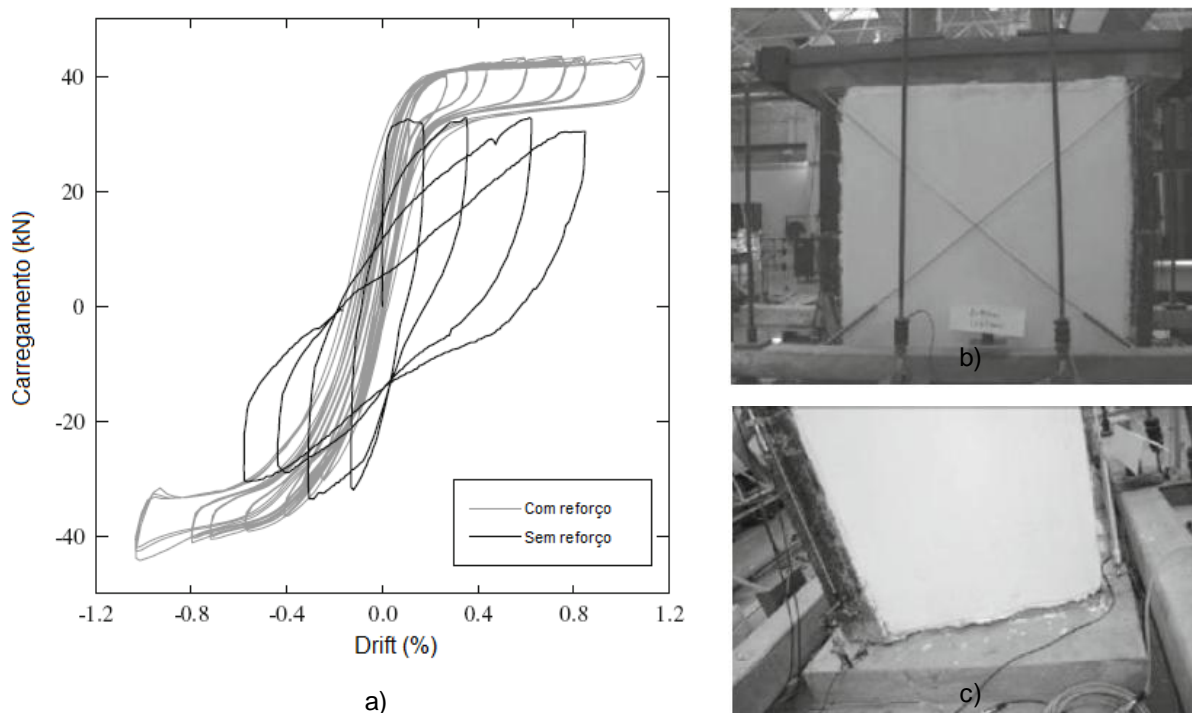


a) Remover revestimento; b) Espaçamento dos conetores; c) Colocação dos conetores; d) Enchimento das juntas; e) 1ª camada de rede; f) Aperto das chapas de ancoragem; g) 2ª camada de rede; h) Cortar excesso dos conetores; i) Aplicar reboco; j) Cura do revestimento

Figura 4.28 – Execução do reforço da alvenaria [16]

A fase seguinte do trabalho foi o reforço da alvenaria. O revestimento da parede com um reboco armado foi a técnica de reforço escolhida, pois esta solução é bastante atrativa devido ao baixo custo e facilidade de execução. Contudo, é importante referir que a aplicação desta técnica de reforço deve ser complementada com outras soluções, de forma a melhorar o comportamento sísmico global de uma construção, nomeadamente através do confinamento transversal das paredes, com pregagens ou conetores metálicos.

A aplicação desta técnica, fig. 4.28, pode ser dividida em dez passos: a) remover o revestimento original; b) definir a posição dos conetores transversais metálicos, espaçados de 0,50cm aproximadamente; c) efetuar a furação e colocar os conetores; d) enchimento das juntas; e) colocação da rede metálica; f) aperto das chapas de ancoragem; g) colocação da segunda camada de rede metálica; h) cortar o excesso dos conetores transversais; i) aplicação do reboco; j) cura da argamassa simulando a humidade dos Açoers.



a) Gráfico carregamento-drift; b) Vista global da alvenaria após o ensaio; c) Vista da base da alvenaria após o ensaio

Figura 4.29 – Resultados do ensaio [16]

O trabalho permitiu observar o comportamento no plano de uma alvenaria de pedra irregular retirada de uma construção nos Açores, e avaliar a eficácia do reforço da parede com reboco armado e confinamento transversal.

Verificou-se que a parede revelou um comportamento não dúctil, com resistência reduzida a esforços de corte. Após a realização do reforço observou-se, fig.4.29 a), uma modificação completa deste comportamento, visto que a capacidade de dissipação de energia aumentou de 0,85% para 1.15% permitindo, assim, maiores deslocamentos no ensaio sísmico mas apresentando, no entanto, menos danos do que no ensaio antes do reforço.

Assim, conclui-se que a técnica de reforço utilizada apresenta bons resultados, como se pode observar na figura 4.29 b) e c), após o ensaio a parede manteve a sua integridade estrutural, exibindo apenas alguma microfissuração na zona de ligação com a base em betão.

#### 4.2.2. Rebocos armados aplicados em suportes de alvenaria de tijolo cerâmico

- Improving ductility and energy-dissipation capacity of infills by means of polymeric nets [14]

A eficácia do reforço de uma alvenaria, recorrendo a uma solução de reboco armado, foi testada por C. Colombo, *et al* [14]. O programa de investigação consistiu na construção de duas paredes de alvenaria de tijolo cerâmico à escala real, uma parede sem aberturas e outra com aberturas assimétricas para, posteriormente, serem submetidas a um ensaio cíclico no plano, fig. 4.30.

No estudo realizado seguiram-se duas abordagens distintas: análise feita através de modelos não-lineares de elementos finitos e análise a modelos à escala. No presente trabalho, apresentam-se os resultados da análise aos modelos à escala.

Nos ensaios aos modelos à escala pretendeu visualizar-se os locais onde ocorre a fendilhação e qual a força máxima a que resistem.

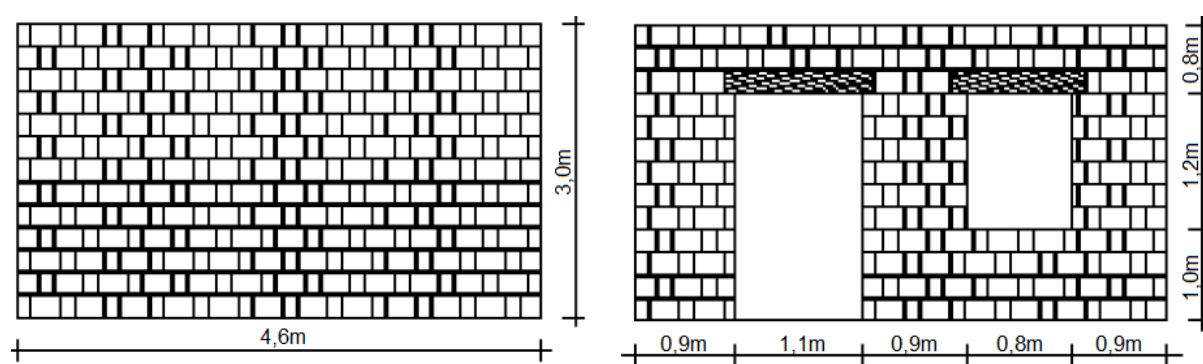


Figura 4.30 – Representação dos dois painéis construídos por C. Colombo [14]

- Utilizaram-se modelos à escala real, 4,6m x 3,0m x 0,25m (Comprimento; altura; espessura)
- Construção de dois tipos de painéis diferentes, um sem aberturas e outro com aberturas não simétricas
- Os ensaios foram realizados no ELSA (European Laboratory for Structural Assessment)
- Na construção dos painéis foram utilizados tijolos de dimensão 250mm x 190mm x 120mm (Espessura; comprimento; altura) com 42% de vazios e argamassa de cimento Portland de classe M3 (1200 a 1600 Kg/m<sup>3</sup>)
- Rede polimérica, com dimensão 40mm; 40mm, com uma resistência à tração de 30 kN/m





Figura 4.31 – Painel com aberturas assimétricas reforçado com rede polimérica [14]

A rede foi colocada, fixa com conectores, envolvendo todo o painel de alvenaria, inclusive na zona das aberturas, fig. 4.31. O ensaio realizado caracterizou-se por um conjunto de deslocamentos horizontais cíclicos, cada vez maiores, até ao colapso dos painéis.

As paredes sem reforço são normalmente caracterizadas por uma baixa resistência a esforços de corte, tendo-se verificado, nos painéis reforçados, uma alteração completa desta característica. A diferença na resposta dos painéis sem e com reforço foi ainda mais expressiva no caso do painel com aberturas, tendo o painel sem reforço colapsado totalmente, fig. 4.32 e fig. 4.33. A diferença na resistência ao corte foi cerca de 40% superior no painel reforçado com reboco armado.



Figura 4.32 – Paredes sem aberturas com e sem reforço após realização do ensaio cíclico [14]

Os resultados dos testes apresentados demonstraram a eficácia da solução proposta. Comparando os painéis testados, verificou-se que esta técnica de reforço pode alterar significativamente as características mecânicas dos painéis, bem como alterar a relação força/deformação. Esta alteração permite aos painéis de alvenaria dissipar uma quantidade de energia muito maior, fig. 4.34.



Figura 4.33 – Parede com aberturas após ensaio cíclico [14]

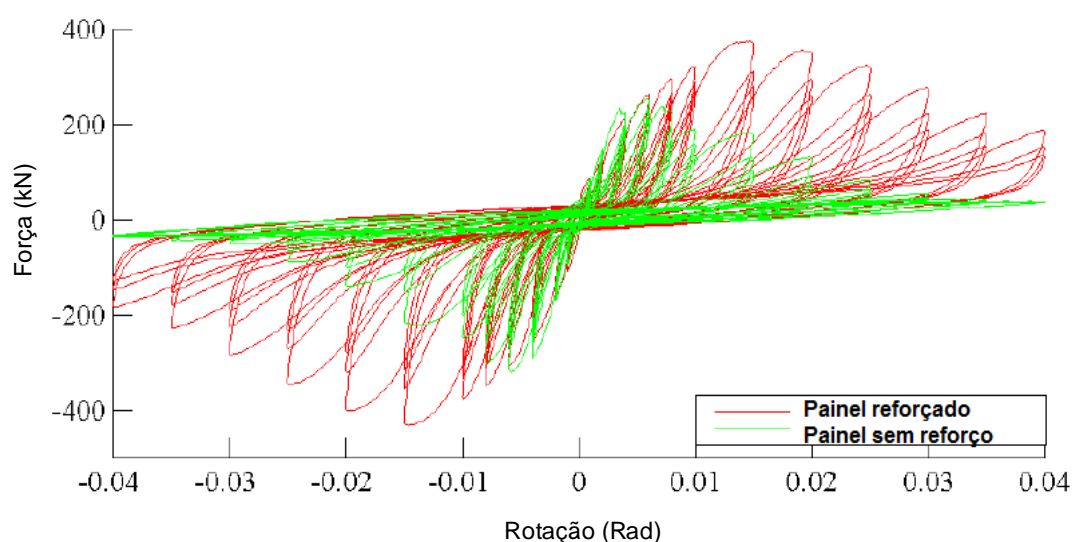
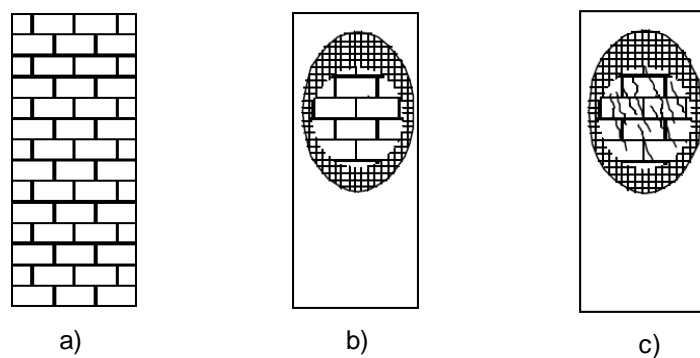


Figura 4.34 – Gráfico Força-Rotação dos painéis sem aberturas com e sem reforço [14]

No caso dos painéis com aberturas, os resultados foram ainda mais expressivos, uma vez que a solução proposta resulta num aumento da resistência máxima ao corte, aumento da capacidade resistente e aumento da capacidade de deformação.

- **Reabilitação de parede de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada [42]**

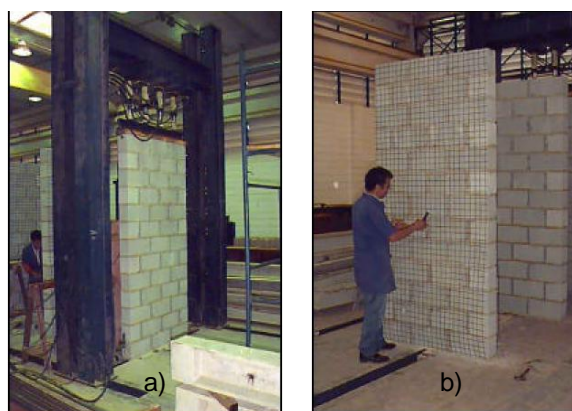
No estudo elaborado por F. Oliveira [42], foram ensaiadas três tipologias de paredes à compressão simples, nas seguintes situações, fig. 4.35; a) parede sem revestimento; b) parede não danificada reforçada com reboco armado; c) parede danificada e recuperada com argamassa de baixa resistência e reboco armado.



a) Situação 1; b) situação 2; c) situação 3

Figura 4.35 – Diferentes paredes para ensaio à compressão simples realizado por F. Oliveira [42]

As paredes foram construídas em blocos de betão com resistência de 4,5MPa e dimensões de 40x20x15 cm (largura; altura; espessura), fig. 4.36. A argamassa de assentamento utilizada foi de cimento Portland, cal e areia com traço volumétrico 1:0,5:3. A argamassa de revestimento aplicada nas situações 2 e 3, foi de cimento Portland e areia com traço volumétrico 1:3. A rede de reforço do reboco é de aço com espaçamentos de 50 mm e foi fixa na parede por meio de fios de arame, que foram passados por furos realizados nos blocos de betão com uma broca. As paredes têm dimensões de 120x260x15 (largura; altura; espessura) e foram ensaiadas através da aplicação de cargas distribuídas por meio de macacos hidráulicos uniformemente espaçados.



a) Vista do ensaio; b) Colocação da amadura de reforço

Figura 4.36 – Preparação das paredes para o ensaio de compressão simples [42]

Pelos resultados do gráfico seguinte, fig. 4.37, é de destacar que a aplicação de um reboco armado aumenta a resistência à compressão da parede. Esta técnica de reforço aumenta a rigidez da parede, tornando-a menos deformável por compressão. Embora não se tenha verificado condições para uma avaliação da ductilidade da parede, pode-se dizer que a evolução dos encurtamentos observados na parede P2 apontam para a melhoria da ductilidade. Os resultados particulares desta série de ensaios mostraram que a parede P01r, mesmo recuperada com um revestimento de argamassa de baixa resistência à compressão, teve sua resistência multiplicada por 3,7.

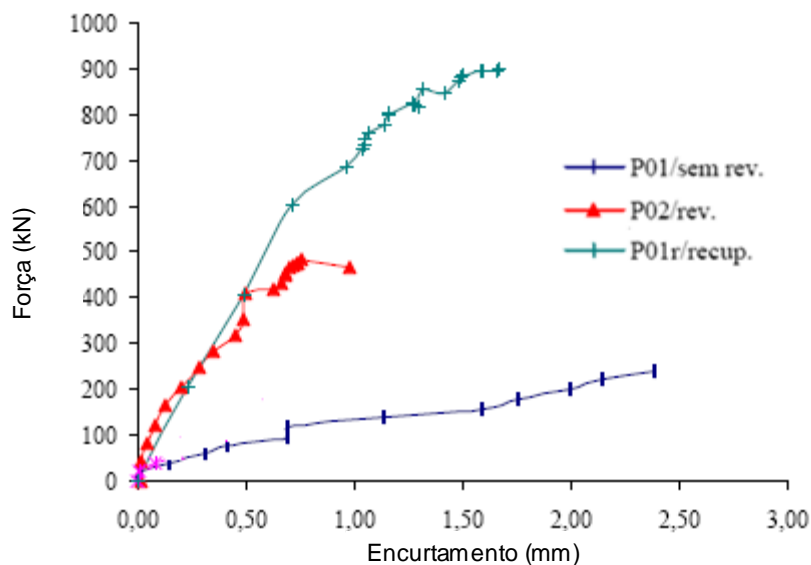


Figura 4.37 – Gráfico força-encurtamento médio da parede [42]

### 4.2.3. Rebocos armados aplicados em alvenarias de tijolo cerâmico e blocos de pedra

- Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels [44]

O programa experimental realizado por C. Papanicolaou *et al* [44] teve como objetivo avaliar a eficácia da técnica de reforço de alvenarias TRM (*textile reinforced mortars*). Foram construídos 5 modelos à escala, com diferentes dimensões e diferentes materiais, três deles de tijolo cerâmico (modelos do tipo A, B e C), fig. 4.38, e outros dois com blocos de pedra (modelos do tipo D e E), fig. 4.39.

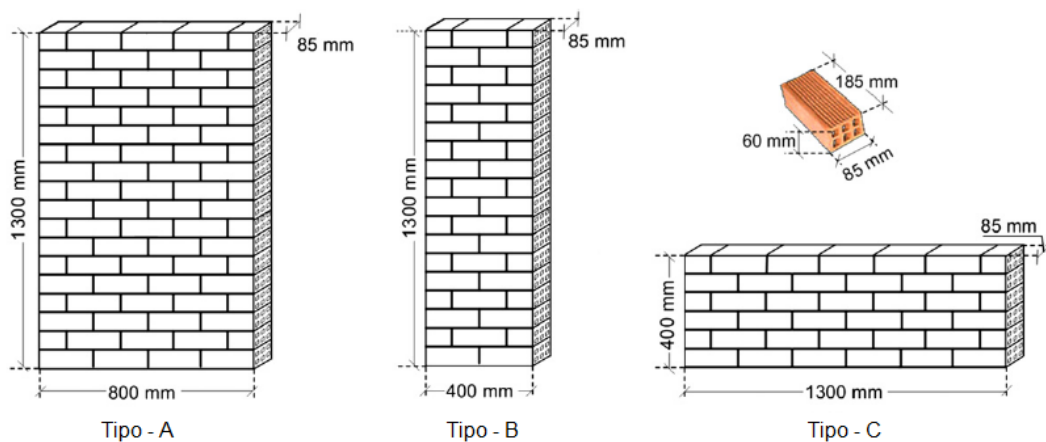


Figura 4.38 – Representação da tipologia e dimensão dos modelos em tijolo cerâmico [44]



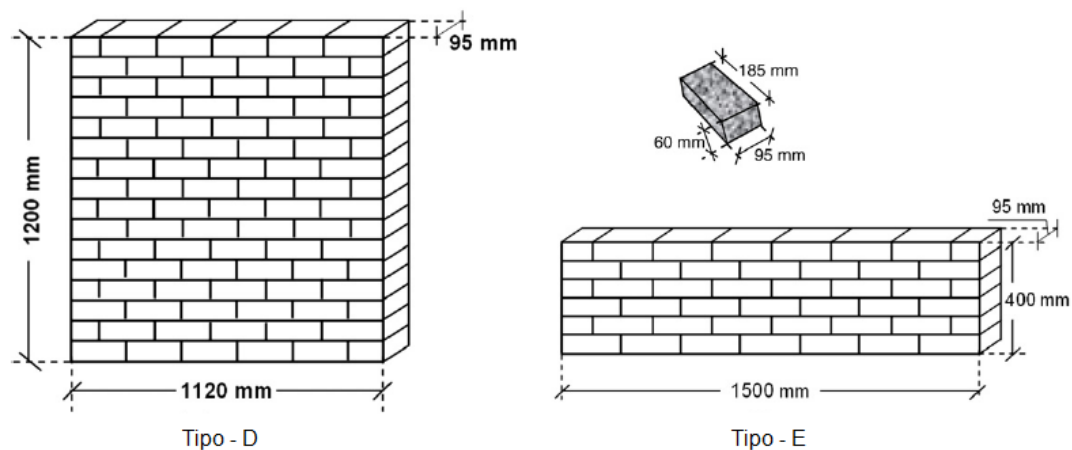


Figura 4.39 – Representação da tipologia e dimensão dos modelos em bloco de pedra [44]

Tabela 4.1 – Propriedades físicas das redes de reforço utilizadas por C. Papanicolaou [44]

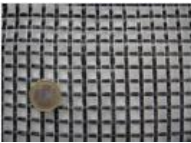
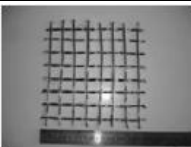

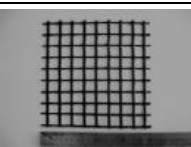
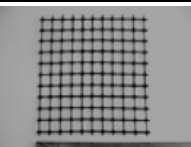
Material da rede	Abertura da malha (mm)	Peso (g/m <sup>2</sup> )	Resistência à tração (kN/m)	Módulo de elasticidade (GPa)
 Fibra de carbono	10	168	157	225
 Fibra de basalto	25	192	66	89
 Fibra de Vidro	25	290	54	70
 Fibra de poliéster	22	600	10	2
 Polipropileno	19	265	10	2

Tabela 4.2 – Propriedades das argamassas e agentes de ligação [44]

<b>Argamassas e agentes de ligação</b>	<b>Constituintes</b>	<b>W/CM <sup>a)</sup></b>	<b>Resistência à flexão (MPa)</b>	<b>Resistência à compressão (MPa)</b>
Argamassa de assentamento para tijolo cerâmico	Cimento:cal:areia = 1:2:10	0.8	1.2	3.9
Argamassa de assentamento para blocos de pedra	Cimento:cal:areia = 1:2:5.5	0.6	2.1	8.2
Argamassa de revestimento de cimento Portland com adição de plastificante <sup>b)</sup> (Modelos do tipo A, B e C)	Plastificante comercial adicionado com rácio 10:1 de peso	0.3	5.8	31.4
Argamassa de revestimento de cimento Portland com adição de fibras poliméricas dispersas (Modelos do tipo D e E)	Fibras poliméricas adicionadas à argamassa	0.17	4.0	20.0
Argamassa de baixa resistência (modelos do tipo D e E)	Argamassa mista de cimento e cal	0.25	1.9	3.8
Resina Epoxi <sup>c)</sup>	-	-	30.0	-

<sup>a)</sup> Razão água/cimento

<sup>b)</sup> Plastificante utilizado com objetivo de melhorar a trabalhabilidade

<sup>c)</sup> Modulo de elasticidade = 3.8 GPa

De forma a avaliar o nível de reforço obtido com esta solução, realizaram-se os seguintes ensaios:

- Ensaio de flexão, fora do plano, carregamento perpendicular às juntas horizontais (Modelo do Tipo B)
- Ensaio de flexão, fora do plano, carregamento paralelo às juntas horizontais (Modelos do Tipo C e E)
- Ensaio de flexão, no plano, com uma componente de carregamento axial (Modelo Tipo B)
- Ensaio de flexão/corte, no plano (Modelo Tipo C)
- Ensaio de corte com uma componente de carregamento axial (Modelos Tipo A e D)

Tabela 4.3 – Plano de ensaios realizados por C. Papanicolaou [44]

Tipo de carregamento	Modelo	Rede utilizada	Tipo de argamassa	Configuração
Fora do plano, perpendicular às juntas horizontais	B	-	-	Controlo
		Fibra de carbono	Argamassa	1 e 2 camadas de rede
			Resina Epoxi	1 e 2 camadas de rede
Fora do plano, paralelo às juntas horizontais	C	-	-	Controlo
		Fibra de carbono	Argamassa	1 e 2 camadas de rede
	E	-	-	Controlo
		Fibra de vidro	Argamassa reforçada com fibras dispersas	1 camada de rede
		Fibra de poliéster		
		Fibra de polipropileno		
		Fibra de basalto		
		Fibra de basalto	Argamassa de baixa resistência	1 camada de rede
No plano	B	-	-	Controlo
		Fibra de carbono	Argamassa	1 e 2 camadas de rede
No plano	C	-	-	Controlo
		Fibra de carbono	Argamassa	1 e 2 camadas de rede
No plano, horizontal	A	-	-	Controlo
		Fibra de carbono	Argamassa	1 e 2 camadas de rede
			Resina Epoxi	1 e 2 camadas de rede
	D	-	-	Controlo
		Fibra de basalto	Argamassa reforçada com fibras	1 camada de rede
			Argamassa de baixa resistência	1 camada de rede



Figura 4.40 – Modelos construídos por C. Papanicolaou [44]

Os resultados apresentados baseiam-se nos gráficos força/deslocamento, onde se observam com especial atenção os valores de carregamento máximo, deslocamento máximo a meio vão, capacidade de dissipar energia, bem como os principais modos de falha dos modelos.

#### **Carregamento fora do plano**

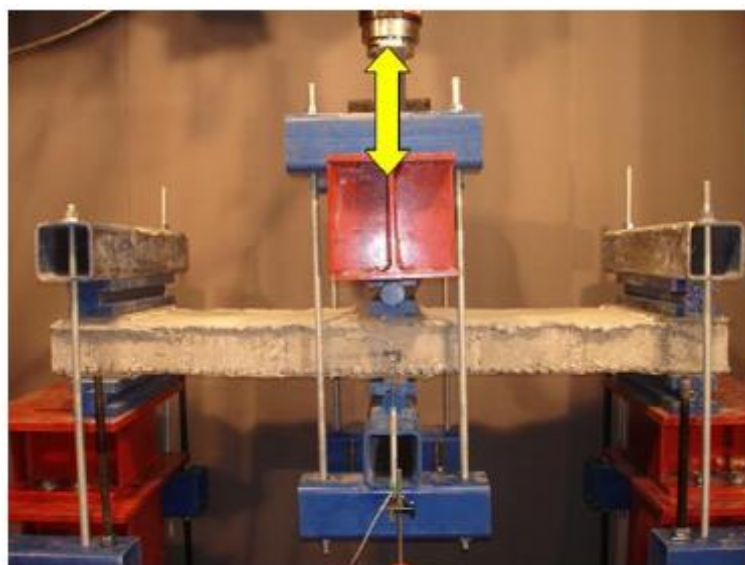


Figura 4.41 – Ensaio de flexão (carregamento fora do plano) [44]

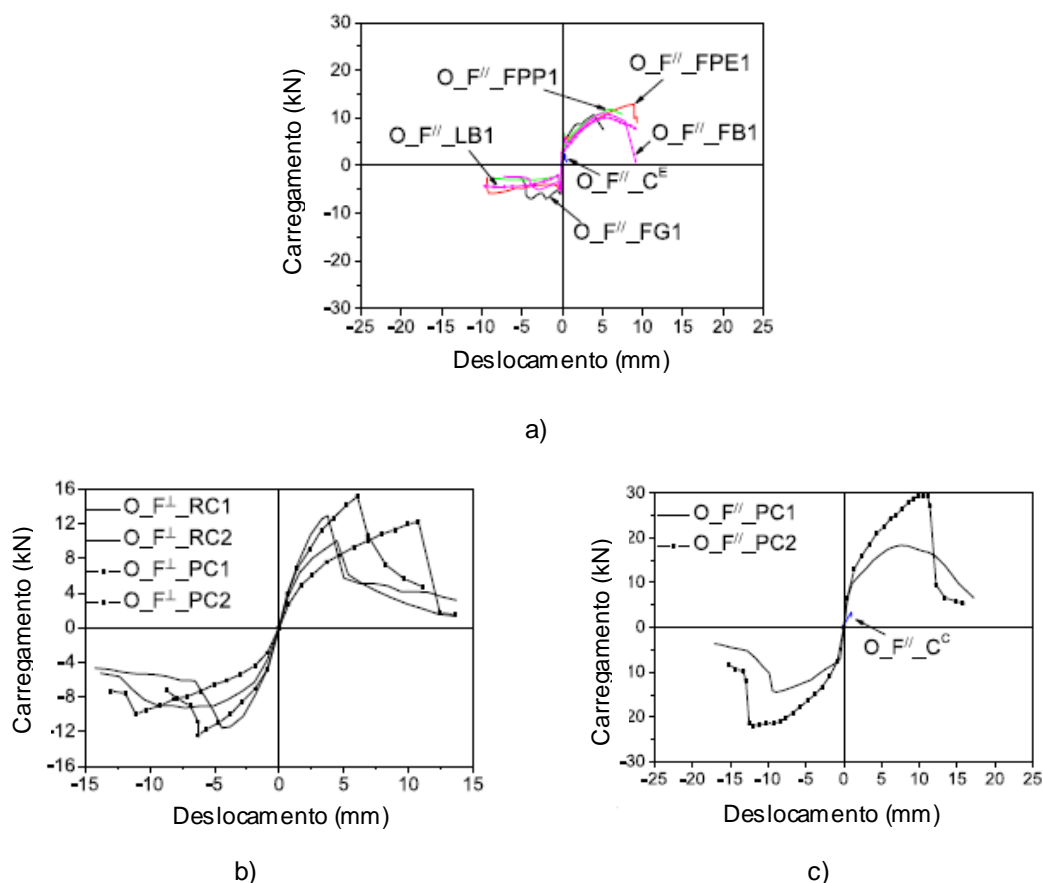


Figura 4.42 – Gráficos carga-deslocamento a meio vão [44]

Na figura 4.42 a simbologia utilizada refere-se:

$O_F^+_{MTN}$  – modelo do tipo B

$O_F//_{MTN}$  – modelo do tipo C e E

Onde:

- M se refere ao tipo de ligante, sendo P argamassa com adição de plastificante, F argamassa reforçada com fibras poliméricas, L argamassa de baixa resistência e R resina epóxi.
- T se refere ao tipo de rede, sendo C fibra de carbono, G fibra de vidro, PE fibra de poliéster, PP polipropileno e B fibra de basalto.
- N se refere ao número de camadas, 1 ou 2.

O modelo do tipo E (construído com blocos de pedra), sem reforço, não apresenta qualquer capacidade resistente a esforços de flexão. Observa-se, na figura 4.42 a), que apenas os modelos reforçados apresentaram boa resistência e capacidade de dissipar energia, sendo o modelo reforçado com rede de fibra de poliéster o mais resistente com um carregamento máximo de 15kN, e uma maior capacidade de deformação a meio vão, 9.0mm.

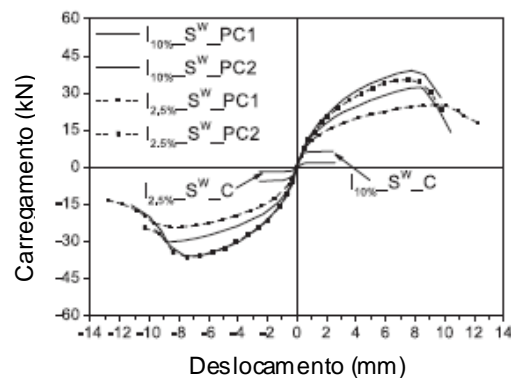
Verifica-se, através da resposta dos modelos do tipo B, na figura 4.42 b), que a resistência aumenta com o número de camadas de rede utilizada. Em comparação com os modelos de controlo, não

reforçados, esta sobreposição de camadas resulta num aumento de resistência nos modelos com direção desfavorável das juntas horizontais (juntas perpendiculares à flexão), atingindo um valor de 16kN para um deslocamento de 6mm, nos modelos reforçados com duas camadas de rede. Pelo contrário, os modelos reforçados com uma só camada, apresentaram um carregamento máximo mais baixo, 12kN, mas a capacidade de deformação aumentou, verificando-se um deslocamento de 11mm a meio vão. Na figura 4.42 c), modelo do tipo E, regista-se um comportamento semelhante ao anterior. Neste caso o carregamento favorável (juntas paralelas à flexão) influenciou os resultados, obtendo-se valores máximos de carregamento superiores, cerca de 30kN.

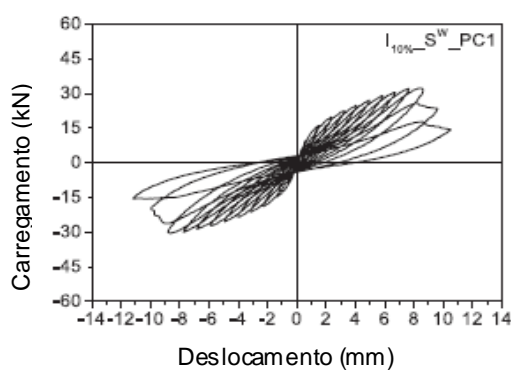
### Carregamento no plano



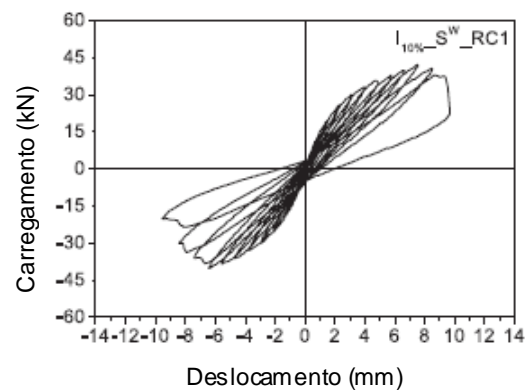
Figura 4.43 – Ensaio cíclico (carregamento no plano) [44]



a)



b)



c)

Figura 4.44 – Gráficos carga-deslocamento no topo do modelo [44]

Na figura 4.44 a simbologia refere-se:

$I_x S^w_{MTN}$  – modelo do tipo A e D

Onde:

- X se refere à percentagem de esforço axial máximo.
- M se refere ao tipo de ligante, sendo P argamassa com adição de plastificante, F argamassa reforçada com fibras poliméricas, L argamassa de baixa resistência e R resina epóxi.
- T se refere ao tipo de rede, sendo C fibra de carbono, G fibra de vidro, PE fibra de poliéster, PP polipropileno e B fibra de basalto.
- N se refere ao número de camadas, 1 ou 2.

No modelo do tipo A (tijolo cerâmico) onde o ligante utilizado foi argamassa, verifica-se, na figura 4.44 a), que com duas camadas de rede a resistência é superior do que quando se aplica apenas uma camada. A percentagem de carga aplicada axialmente tem influência nos resultados obtidos, maior esforço axial aplicado resulta numa maior resistência ao corte dos muretes.

Comparando o uso de resina epóxi com o de argamassa, verifica-se, nas figuras 4.44 b) e c) que, para os modelos do tipo D (blocos de pedra), com uma só camada de rede, o uso de argamassa como ligante apresenta menor resistência mas maior capacidade de deformação. O mesmo se verifica nos modelos reforçados com duas camadas de rede. Comparando as soluções de uma camada de rede com as de duas camadas, observa-se que a dupla camada resulta numa maior resistência e numa menor capacidade de deformação.

Durante o ensaio, os modelos reforçados com rede apresentaram uma fissuração horizontal com grandes espaçamentos e espessura muito reduzida. Concluiu-se que esta solução de reforço, utilizando redes nos rebocos, contribui decisivamente para o aumento da resistência e capacidade de deformação. Observa-se que os modelos reforçados no ensaio de flexão apresentam grande capacidade de resistir a esforços de tração diminuindo, deste modo, a fissuração. Mesmo utilizando argamassas de baixa resistência o resultado é semelhante, uma vez que o aumento de resistência é superior a 400% e o aumento da capacidade de deformação superior a 130%.

Em termos de capacidade de deformação, muito importante, por exemplo, para o reforço sísmico de uma construção, esta solução de reforço apresenta-se também decisiva no aumento de resistência a esforços de corte, obtendo-se valores de 15-30% de incremento.

#### 4.2.4. Reforço de argamassas com fibras curtas

- **Reforço de rebocos com fibras dispersas de sisal [22]**

O estudo de L. Dias *et al* [22], teve como objetivo avaliar se o uso de fibras de sisal nas argamassas beneficia o comportamento pós-fissuração do reboco, funcionando como ponte de transferência de tensões. As fibras, quando adicionadas à argamassa, podem contribuir para o aumento da



capacidade resistente, da capacidade de deformação e da tenacidade do reboco. Desta forma, a argamassa que apresentava uma rotura frágil pode apresentar uma rotura quase dúctil.

Para melhor previsão e interpretação dos resultados deste estudo, procedeu-se à análise prévia das características das fibras de sisal. Através da análise da tabela 4.4, verifica-se que a resistência à tração das fibras de sisal é de cerca de 1/10 das fibras de vidro e de carbono, e de cerca de 1/3 das de aço. No que se refere à deformação na rutura, as fibras de sisal têm uma capacidade de extensão 10 vezes superiores às das fibras de aço e o dobro da deformação suportada pelas de carbono.

Tabela 4.4 – Propriedades das fibras de sisal e de algumas fibras minerais [22]

Tipo de fibras	Diâmetro (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Deformação na rutura (%)
Sisal	-	-	13-26	0,28-0,57	3,00-5,00
Aço	5-50	7,84	190-210	0,50-2,00	0,5-3,50
Carbono	9	1,90	230	2,60	1,00
Vidro	9-15	2,60	70-80	2,00-4,00	2,00-3,50

Para melhor avaliar o comportamento dos rebocos com diferentes composições de fibras, quando sujeitos a ações externas, foram realizados ensaios laboratoriais destrutivos e normalizados de compressão e flexão. Com base nos ensaios realizados, pode determinar-se a resistência de cada composição, com diferente teor em fibra e, assim, determinar a percentagem ideal.

Foi utilizada uma argamassa traço 1:1:6, ou seja, argamassa mista de cimento Portland, cal apagada, areia e percentagem variável de fibras de sisal (0%,...,7%), construíram-se prismas de dimensão 40x40x160mm e realizaram-se de resistência à flexão e compressão.

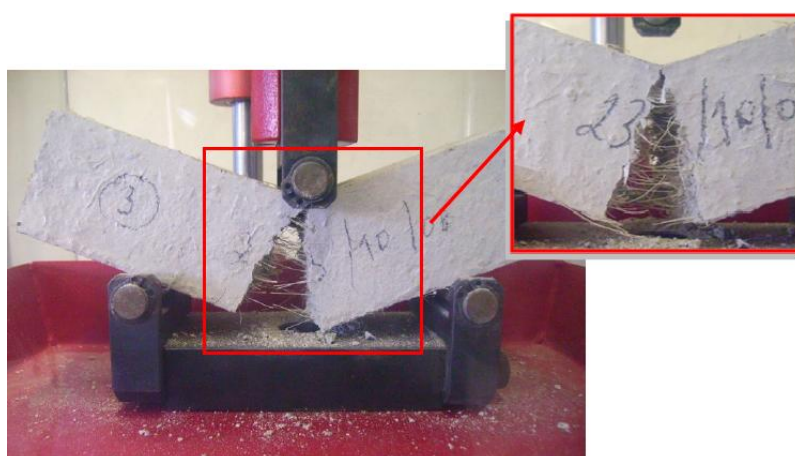


Figura 4.45 – Ensaio de resistência à flexão de um provete reforçado com fibras de sisal [22]

O gráfico relativo aos valores da resistência à flexão em função do teor de fibras de sisal, ao longo do tempo de cura, está representado na figura 4.46.



Nos ensaios laboratoriais realizados aos 14 dias de cura da argamassa, obteve-se um aumento gradual da resistência à flexão, com o aumento da percentagem de fibras de sisal, até atingir valores da ordem dos 80%, acima do valor da resistência da argamassa sem fibras. A máxima resistência registada notou-se para um teor de fibras de 5% em função da massa de ligante. Notou-se um decréscimo da resistência à flexão com o aumento do teor para além dos 5%. Para uma taxa de 6% de fibras obtiveram-se resultados ligeiramente superiores, quando comparados com os valores relativos a 4%, mas o mesmo não sucede para uma taxa de 7% de fibra de sisal para a qual a resistência atingida é inferior. Da mesma forma, aos 28 dias, obteve-se um aumento gradual da resistência à flexão, com o aumento do teor de fibra, até atingir um acréscimo da ordem dos 150% em comparação com valor da resistência da argamassa sem fibras. A máxima resistência registada verificou-se para um teor de fibras de 6% em função do peso de ligante. Como nos resultados anteriores, notou-se um decréscimo da resistência à flexão com o aumento do teor para 7%.

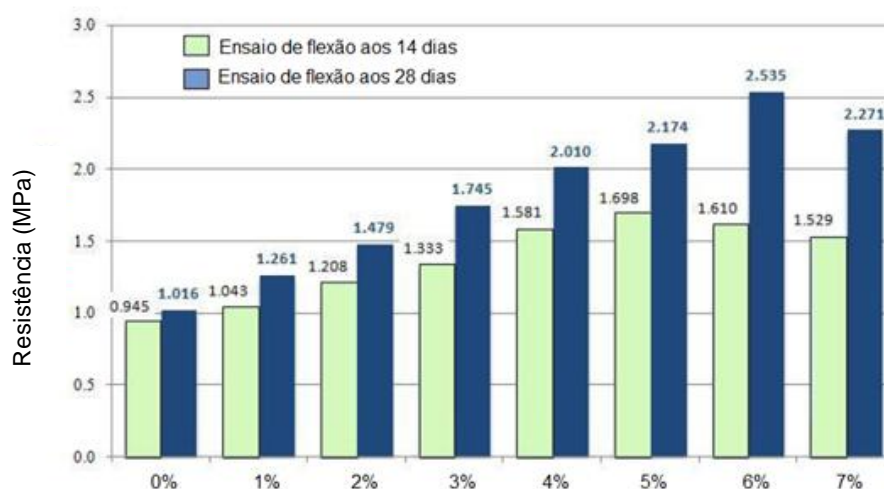


Figura 4.46 – Resultados do ensaio de flexão aos 14 e 28 dias [22]



Figura 4.47 – Ensaio de resistência à compressão do provete sem fibras [22]

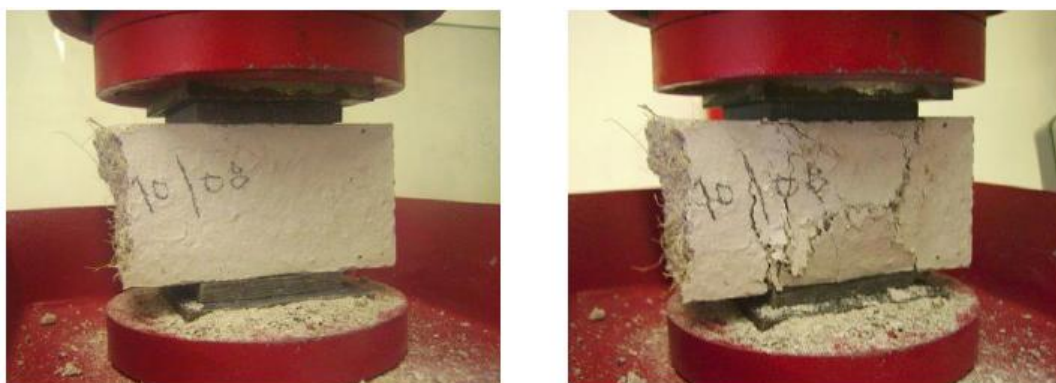


Figura 4.48 – Ensaio de resistência à compressão de um provete com fibras de sisal [22]

No que diz respeito à resistência à compressão, notou-se um forte decréscimo com o aumento do teor de fibras. Embora essa diminuição seja mais acentuada para 1%, 2% e 3%, registou-se uma queda na resistência da ordem dos 50% para o teor máximo de 7% de fibras aos 14 dias de cura, e de 42% para o mesmo teor de fibra aos 28 dias de cura. O gráfico relativo aos valores da resistência à compressão em função do teor de fibra de sisal, durante o período de cura, está representado na figura 4.49.

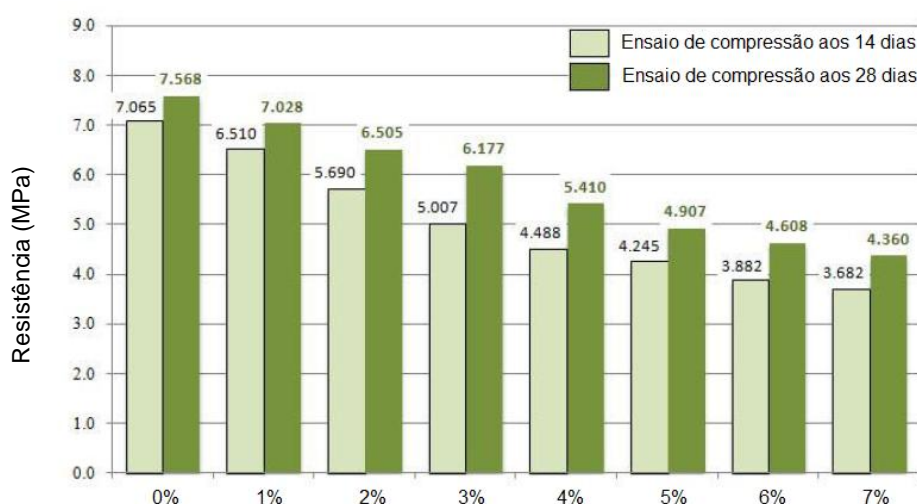


Figura 4.49 – Ensaio de compressão aos 14 e 28 dias [22]

No estudo laboratorial desenvolvido aos 28 dias de cura da argamassa, fig. 4.50, verificam-se aumentos de resistência à flexão da ordem dos 160%, para um teor de fibras de 6%. A diminuição da resistência à compressão registada para esse mesmo teor de fibras, foi de 40% aos 28 dias. No entanto, neste tipo de argamassas, a importância da resistência à flexão é superior à da resistência à compressão, daí concluir-se que a adição de fibras de sisal é altamente benéfica no que se refere às características dos rebocos, conduzindo à diminuição e dissipação da fissuração, bem como a um melhor comportamento na rotura quando sujeitos a esforços excessivos.

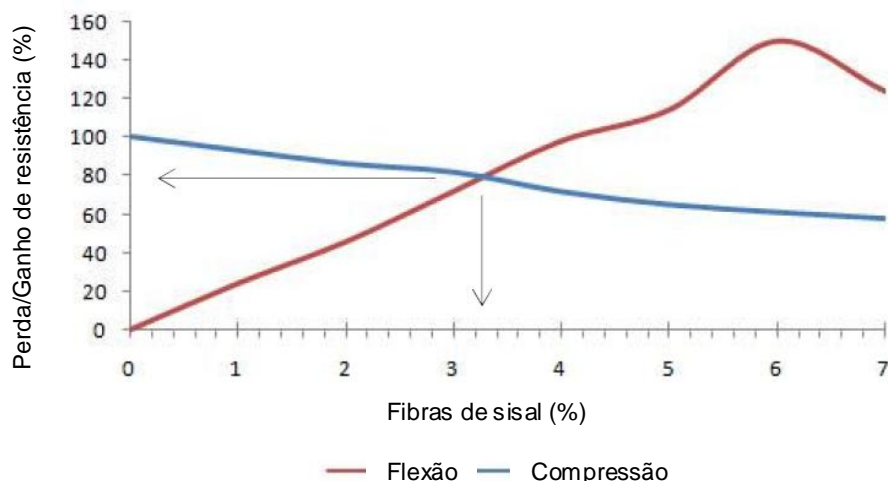


Figura 4.50 – Análise comparativa das perdas e ganhos de resistência aos 28 dias [22]

Com o cruzamento dos valores, do gráfico anterior, pode concluir-se que o teor ótimo de fibras, para o qual o reboco adquire uma maior resistência global, vai ser de 3,3% de fibras de sisal, para a qual o reboco vai atingir um ganho de resistência à flexão de 80% e uma perda da resistência à compressão de apenas 20%.

- **Use of steel fiber reinforced mortar for seismic strengthening [53]**

No trabalho de T. Sevil *et al* [53] foram realizados 4 misturas de argamassas com diferentes percentagens de fibras de aço, 0%, 1%, 2% e 4%. Destas 4 argamassas construíram-se provetes para os ensaios de resistência à compressão e flexão, bem como para o ensaio de aderência ao suporte. Na argamassa com 4% de fibras a ligação ao suporte não foi conseguida sendo, por esse motivo, eliminada do estudo.

Materiais utilizados:

- Argamassa de cimento Portland, CEM I 42,5R e areia de rio
- Fibras de aço com comprimento de 30mm e 0,55mm de diâmetro
- Adição de um plastificante de forma a aumentar a coesão e trabalhabilidade da argamassa. A dosagem utilizada foi de 0,1-0,2% do peso de cimento



a) Aplicação das argamassas; b) Ensaio de adesão

Figura 4.51 – Ensaio das diferentes misturas de argamassas [53]

No ensaio de aderência ao suporte verificou-se o aumento de aderência nos provetes reforçados com fibras, chegando a atingir valores de aumento de, aproximadamente 70% nos provetes com 1% de fibras de aço e de 90% nos provetes com 2%, em relação aos provetes não reforçados.

No ensaio de resistência à flexão, verificou-se que nos provetes com 2% de fibras na sua constituição, o aumento de resistência chegou a um valor de 30% em relação aos provetes sem reforço. Como resultado do aumento da resistência à flexão, aumenta também a resistência contra a propagação de fissuras devido à capacidade das fibras em dissipar as tensões internas. Concluiu-se que a carga para a qual aparece, tanto a primeira como a última fenda, aumentou nas argamassas com 2% de fibras de aço. Como consequência, a durabilidade do reboco aumenta bastante.

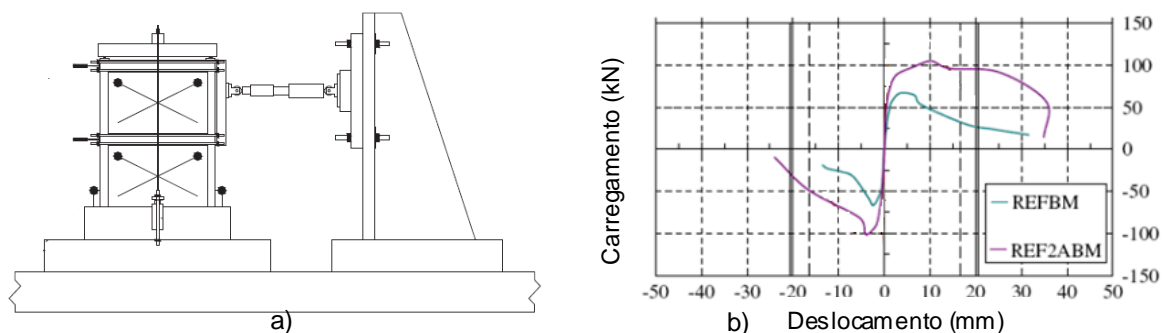
No ensaio de resistência à compressão, os provetes apresentam um decréscimo pouco significativo de resistência, com valores de aproximadamente 5% no caso dos provetes com 1% de fibras e de 7% no caso dos provetes com 2%.



a) Ensaio de flexão; b) Provetes após ensaio de flexão; c) Ensaio de compressão

Figura 4.52 – Ensaio dos provetes realizado por T. Sevil [53]

No ensaio de compressão-corte cíclico, pretende avaliar-se o comportamento a ações horizontais, rigidez e capacidade de dissipação de energia. Tendo em conta os valores registados nos ensaios anteriores, tomou-se como mistura ótima a argamassa com 2% de fibras de aço na sua constituição, sendo por isso essa a escolha para o revestimento do modelo alvo do ensaio sísmico. Os resultados verificados foram bastante elucidativos do comportamento dos modelos ensaiados com e sem reforço. Em todos os parâmetros anteriormente referidos, observou-se uma melhoria na parede reforçada com reboco armado com fibras curtas de aço em relação à parede sem qualquer tipo de reforço, como se pode observar na figura 4.53.



a) Representação esquemática do ensaio; b) Resultado do ensaio

Figura 4.53 – Ensaio cíclico realizado por T. Sevil [53]

## **Conclusões**

Os resultados dos ensaios anteriormente referidos neste capítulo demonstram que a aplicação de um reboco armado em diferentes alvenarias resulta na recuperação da rigidez inicial, um ligeiro aumento da resistência lateral, um significativo aumento da ductilidade e da capacidade de dissipação de energia e não se verifica um modo geral rotura frágil, característico de alvenarias de pedra irregular [7, 16, 23].

Com o melhoramento de comportamento verificado com as soluções de reparação e reforço adotadas, consegue-se diminuir a vulnerabilidade sísmica de edifícios antigos. Ou seja, a solução de reparação das fissuras (injeção de caldas de cal hidráulica) e a aplicação de confinamento transversal, combinado com reboco armado com rede, devidamente esticada e ancorada, mostrou-se muito eficaz [16, 37, 48].

Constatou-se ainda que o confinamento conseguido através da aplicação desta solução de reforço é superior quando existe ligação do reboco armado com a base, demonstrando assim a importância das fundações para o comportamento das alvenarias de edifícios antigos. Verificou-se também que, a utilização de argamassas de baixa resistência não têm influência na eficácia desta técnica, evidenciando assim a importância da armadura utilizada [7, 44, 48].

A utilização de fibras dispersas nas argamassas contribui de forma significativa para o controlo da fendilhação resultante do aumento da ductilidade e também do incremento da resistência à tração. Este resultado é obtido através do atraso da abertura da 1ª fenda, da redução da largura das fendas e da formação da fendilhação múltipla [22, 53, 63].

Os resultados obtidos com os ensaios das paredes, no seu estado original e após o reforço, possibilitam o estabelecimento de uma base de conhecimentos que permite, a interpretação de patologias estruturais típicas, a calibração de modelos numéricos com vista a uma melhor descrição do comportamento das construções e uma avaliação mais rigorosa da segurança das construções existentes em alvenaria de pedra, importante para património regional, nacional e mundial.

Em suma, verificou-se que as soluções de reabilitação analisadas revelaram-se viáveis para possíveis aplicações no reforço de construções antigas e novas.

---

### TRABALHO DE CAMPO

#### 5.1. Considerações gerais

No seguimento da pesquisa bibliográfica realizada, efetuou-se uma série de visitas para complemento deste estudo. A escolha dos locais visitados resultou da temática analisada nos capítulos anteriores, nomeadamente a reabilitação de edifícios antigos, as armaduras de reforço dos rebocos e as argamassas de revestimento.

- A primeira visita refere-se à produção de armaduras de reforço para rebocos, fabricadas em fibra de vidro. Após pesquisa na base de dados de produtos homologados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), verificou-se que, em Portugal, as únicas redes com este tipo de reconhecimento técnico eram fabricadas pela Vimaplás – Tecidos Técnicos, Lda. Nas instalações da Vimaplás, sediadas em Vila Nova de Gaia, são produzidos vários tipos de redes em fibra de vidro para a área da construção.
- No mercado das argamassas industriais, realizou-se uma visita à empresa Secil Argamassas, na introdução em Portugal desse tipo de produto. A unidade visitada está localizada no Montijo, e é a mais recente fábrica de produção de argamassas secas da Secil, tendo iniciado a sua atividade em 2011.
- O estudo de um caso real, onde se aborda a temática dos edifícios antigos, resultou da visita a uma obra de reabilitação de um edifício pombalino, datado do período pós terramoto de 1755, em Lisboa, que se apresentava bastante degradada. O projeto de reabilitação deste edifício foi realizado pela A2P- Estudos e Projetos e a empreitada efetuada pela construtora Tecniarte.



- a) Vimaplás – Tecidos Técnicos
- b) Secil Argamassas
- c) Obra de reabilitação

Figura 5.1 – Localização das visitas efetuadas



## 5.2. Visitas a instalações fabris

Nesta secção descrevem-se as visitas realizadas às instalações fabris de produção de tecidos técnicos para o setor da construção, nomeadamente produção em fibra de vidro, e às instalações fabris de produção de argamassas secas.

### 5.2.1. Visita à empresa de produção de redes em fibra de vidro

Esta visita realizou-se no dia 22 de Maio de 2012 às instalações da Vimaplás – Tecidos Técnicos. Trata-se de uma empresa que tem como objetivos principais identificar, desenvolver e produzir soluções para reforço dos revestimentos de paredes (redes de fibra de vidro). As instalações situam-se na Zona Industrial da Mina em Vila Nova de Gaia, Rua do Emigrante nº307, fig. 5.2.



Figura 5.2 – Localização das instalações da Vimaplás – Tecidos Técnicos [Google Maps ©]

A fibra de vidro surge como um dos materiais mais utilizados na produção de tecidos técnicos para construção devido às suas propriedades mecânicas e baixo custo de fabrico. Atualmente, são produzidas três tipos redes distintas: as do tipo E, tipo S e tipo AR. O tipo E é bastante resistente à humidade e a altas temperaturas, o tipo S apresenta alta resistência mecânica e o tipo AR tem excelente resistência química.

Na tabela 5.1 faz-se uma síntese da composição química das fibras de vidro utilizadas na produção das redes comercializadas.



Tabela 5.1 – Constituição química das fibras de vidro [30]

Constituição química	Tipo E (%)	Tipo AR (%)	Tipo S (%)
SiO <sub>2</sub> (Sílica)	52-56	55-75	64-66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alumina)	12-16	0-5	24-25
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido de boro)	5-10	0-8	-
CaO (Óxido de cálcio)	0-5	1-10	0-0,1
MgO (Óxido de magnésio)	-	-	9,5-10
Li <sub>2</sub> O (Óxido de lítio)	-	0-1,5	-
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O (Óxido de sódio + óxido de potássio)	0-2	11-21	0-0,2
TiO <sub>2</sub> (Óxido de titânio)	0-1,5	0-12	-
ZrO <sub>2</sub> (Óxido de Zircônio)	-	1-18	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido de ferro)	0-0,8	0-5	0-0,1
F <sub>2</sub> (Fluor)	0-1	0-5	-

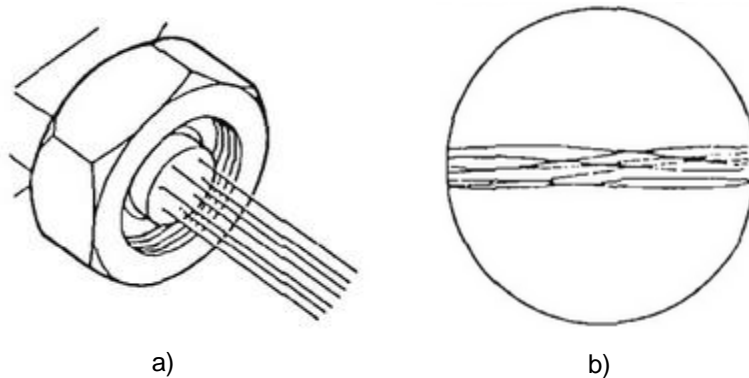
De entre os três tipos de fibras de vidro referidas, a que possui maior cota de mercado é a fibra do tipo E que, comparando com os tipos AR e S, apresenta um custo inferior.

Na formulação química, os vidros do tipo S contêm uma maior proporção de alumina e sílica, o que pode representar um aumento de, aproximadamente, 20% nas suas características mecânicas quando comparado ao vidro tipo E. A fibra do tipo AR caracteriza-se pela presença do óxido de zircônio na sua composição química, este componente confere à fibra de vidro uma resistência química elevada, nomeadamente em meios alcalinos. No que diz respeito ao custo extra da fabricação destes dois últimos tipos de filamento, o excelente acabamento superficial e baixo volume de produção, caracteriza o seu alto valor.

### Processo de produção

O processo de produção das fibras de vidro faz-se a partir da areia, constituída maioritariamente por sílica (SiO<sub>2</sub>), e através da adição de uma série de outros componentes que variam em função das características que se pretende para as fibras. A alumina, o óxido de zircônio, sódio e cálcio são os adjuvantes mais utilizados na produção de fibras de vidro, sendo a variação das percentagens destes componentes a origem dos diferentes tipos de fibras referidas anteriormente.

Estas fibras sofrem o processo de cristalização após um tratamento prolongado com altas temperaturas. A mistura da areia e dos diversos adjuvantes é inserida num forno a uma temperatura de aproximadamente 1600 °C, a massa fundida de vidro flui para bandejas de platina, altamente resistentes à temperatura, chamadas de “fieiras”, que possuem milhares de pequenas aberturas através das quais o vidro passa, sofrendo um processo de extrusão, formando filamentos contínuos com um diâmetro preciso. Após este processo os filamentos são imediatamente resfriados com ar e água fixando, assim, o diâmetro [30].



a) Representação esquemática de uma fieira; b) Representação dos filamentos contínuos

Figura 5.3 – Representação do processo de formação dos filamentos [30]

Os filamentos, similares a fios de cabelo, são revestidos com uma mistura química, chamada *sizing*, que tem como objetivo proteger os filamentos durante o processo de tecelagem. Depois da aplicação do revestimento, os filamentos são agrupados de diferentes formas [72, 73]:

- Fios têxteis – Formados por duas ou mais fibras simples de vidro, torcidos em sentidos inversos para formarem um único fio, bobinados num suporte cônico
- Mantas de fios contínuos – Fabricadas com fios contínuos de vidro, dispostos de forma aleatória em múltiplas camadas e unidos por um ligante. São compatíveis com resinas de poliéster e epóxi
- Mantas de fios picados – Fabricadas com fios picados de vidro, unidos por um ligante solúvel em estireno, que lhe confere uma excelente compatibilidade com resinas de poliéster e epóxi
- Roving – Produzido a partir de fios de vidro indicados para aplicação por projeção
- Roving direto – Produzido a partir de fios de vidro destinados a fabricação de produtos nos processos de moldagem por enrolamento
- Tecido unidirecional – Produzido a partir de fios contínuos de fibras de vidro com agentes de ligação compatíveis com resinas de poliéster e epóxi. É utilizado na moldagem de peças em plástico reforçado e recomendado para laminação manual
- Fibras curtas – Os fios contínuos de fibras de vidro passam por um processo de corte, formando pequenos filamentos. Estas fibras são utilizadas essencialmente no reforço de argamassas e betões.



Figura 5.4 – Produtos comerciais de fibras de vidro [73]

O ponto de partida para o fabrico dos tecidos técnicos, nomeadamente soluções em forma de rede, são os filamentos contínuos agrupados em *roving* direto. A formação do tecido propriamente dito é feita na tecelagem. Trata-se de uma operação que consiste no cruzamento em ângulos retos de dois sistemas de fios paralelos, a teia e a trama, as quais passam por operações preliminares de preparação. As operações de tecelagem podem ser divididas em três fases: bobinagem do fio, preparação da teia, preparação da trama.

A bobinagem do fio consiste em desenrolar o fio da bobine primitiva, fig.5.5, fazendo-o passar por dispositivos especiais e enrolando-o na nova bobine. Esta operação tem a função de eliminar pontos defeituosos do fio.



Figura 5.5 – Bobines primitivas

A preparação da teia tem início no processo de urdissagem. Urdir uma teia consiste em construir um sistema de fios paralelos, rigorosamente individualizados, do mesmo comprimento e com a mesma tensão. Este sistema é enrolado num eixo, denominado *órgão da teia*, que se monta na parte posterior do tear (fig.5.6). O sucesso da operação de tecelagem depende da qualidade dos fios

utilizados, pois uma quebra de um fio provoca a paragem do tear e obriga à retificação do processo, resultando em atrasos significativos na produção da rede.



Figura 5.6 – Tear para produção da rede de fibra de vidro [30]

Na preparação da trama é necessário definir o ponto do tecido. Ponto de um tecido é o termo utilizado para indicar tecnicamente o modo como se efetua o entrelaçamento dos fios da trama com os fios da teia a fim de se produzir o tecido. O processo de produção destas redes consiste na inserção de tramas entre dois grupos de fios da teia, de forma intercalada, figura 5.7 a) ou sobreposta, figura 5.7 b). Este processo de inserção do fio da trama é o mais condicionante em termos de velocidade de produção da rede, visto que qualquer problema nesta etapa obriga a uma paragem do tear e consequente calibração do mesmo.

O travamento entre os fios é feito por colagem dos pontos de cruzamento, e não por entrelaçamento como na tecelagem convencional. O conjunto é imerso num banho de cola e a seguir seco, formando-se assim uma rede quadrada. A densidade ou espaçamentos da rede é a quantidade de fios por centímetro, nos sentidos da teia e da trama, e pode variar de acordo com o produto desejado.



a) Malha intercalada; b) Malha sobreposta

Figura 5.7 – Tipos de pontos de tecido [71]

A escolha do produto químico usado na impregnação dos fios depende do uso final da rede e do tipo de fibra de vidro utilizada. Os dois tipos mais usados são o cloreto de polivinila (PVC) e a cola com base em álcool polivinílico (PVA). As redes produzidas em fibra de vidro do tipo E, para além da cola de estabilização da malha, necessitam de um tratamento final que garanta proteção química,

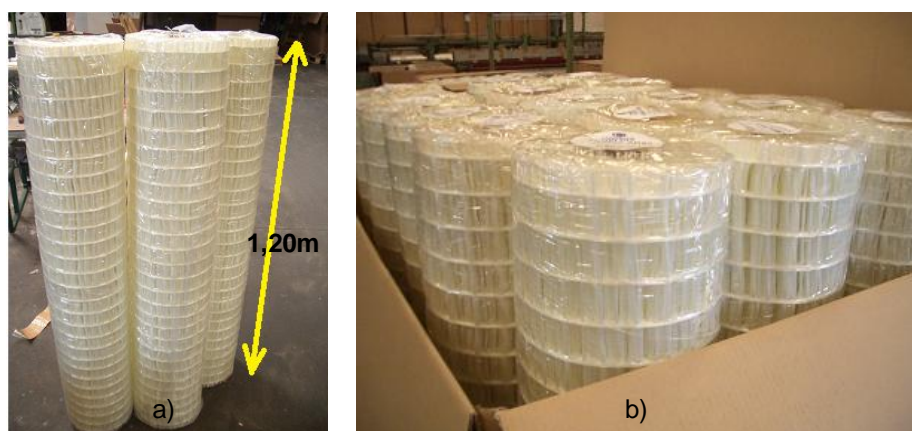
nomeadamente contra os alcalis. A solução adotada para garantir essa proteção é o já referido PVC, sendo aplicado na fase final do processamento da rede. As principais vantagens do uso do PVC são o seu excelente comportamento em ambientes ácidos e a sua baixa permeabilidade.

No que diz respeito às redes produzidas em fibra de vidro do tipo AR, não é necessário qualquer tipo de proteção química, apenas é necessário aplicar uma cola para estabilização da rede.



Figura 5.8 – Processo de tecelagem da rede de fibra de vidro

O processo é finalizado de forma manual, ou seja, depois de produzida a rede, esta é embalada por um operário num filme de polietileno e encaixotada ficando, assim, pronta para seguir para o cliente final.



a) Rede embalada num filme de polietileno; b) Rede encaixotada

Figura 5.9 – Embalagem da rede produzida

No que diz respeito aos custos de produção deste material, nomeadamente do processo de tecelagem, verifica-se que são repartidos aproximadamente por:

- 55% para matéria-prima (bobines primitivas)
- 10% para produtos químicos (produto de colagem e de proteção, PVC)
- 15 % para mão-de-obra
- 20% para energia

---

O preço de venda final de uma rede de fibra de vidro varia em função do tipo de material utilizado na sua produção, pelo que uma rede em vidro do tipo E apresenta um custo de 1€/m<sup>2</sup>, em vidro do tipo AR cerca de 2,5€/m<sup>2</sup> e em vidro S um preço intermédio entre os dois referidos anteriormente.

### 5.2.2. Visita à fábrica de produção de argamassas secas

Realizou-se, do dia 30 de Agosto de 2012, uma visita à empresa Secil Argamassas, que dispõe de várias unidades de produção, atualmente tem cinco fábricas no território nacional, nomeadamente em Maceira, Pataias, Rio Maior, Loulé e Montijo. A unidade visitada está localizada no Montijo, Rua 4 de Outubro 118 Alto do Estanqueiro, e é a mais recente fábrica de produção de argamassas secas da Secil, tendo iniciado a sua atividade em 2011.

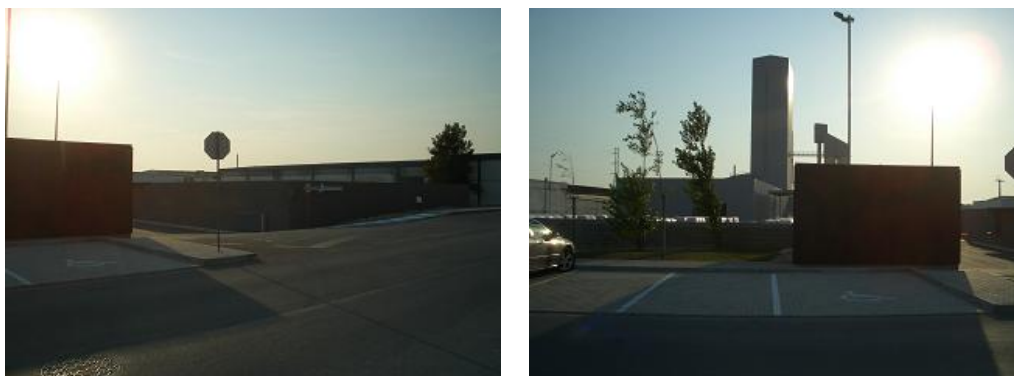


Figura 5.10 – Fábrica de Argamassas secas da Secil

#### Processo de produção

O processo de produção das argamassas secas tem início com a preparação das matérias-primas. Os agregados são maioritariamente calcários e siliciosos. Os agregados siliciosos são explorados em areeiros e sofrem um processo de lavagem para remoção de matéria orgânica. Os agregados calcários são extraídos das pedreiras, passando de seguida por uma britagem primária e podendo também recorrer a um processo de lavagem.

Na unidade de tratamento de agregados realiza-se a secagem, moagem e crivagem dos diferentes materiais. Nesta operação todo o agregado sai do local de armazenagem através de um alimentador vibratório e cai no transportador para ser submetido a um processo de secagem. No caso dos agregados siliciosos, após a secagem, são transportados para o topo da torre onde sofrem um processo de crivagem com a finalidade de remover minerais de maiores dimensões e são armazenados em silos. No caso dos agregados calcários, estes podem ainda ser submetidos, após secagem, a uma operação de moagem. De seguida, procede-se à operação de crivagem através de peneiros com malhas diferentes, à saída de cada peneiro os agregados são armazenados nos respetivos silos.





Figura 5.11 – Preparação das matérias-primas

Para além dos agregados anteriormente referidos são ainda recebidas outras matérias-primas, tais como ligantes e aditivos que são introduzidos nos silos correspondentes. Estes materiais são recebidos em camião cisterna ou em sacos e a ensilagem pode ser efetuada diretamente ou através de transporte pneumático.



Figura 5.12 – Dipositivo pneumático de carregamento dos ligantes para os silos correspondentes

O produto final é obtido a partir da mistura dos diferentes constituintes, cuja dosagem de cada um obedece a uma formulação pré-estabelecida. O ciclo de produção inicia-se com o doseamento das matérias-primas feito por gravidade, a pesagem dos diferentes componentes é realizada dentro da tremonha das respetivas balanças.

A unidade de dosagem das argamassas é comandada por um sistema automatizado que controla todas as fases da produção por logica de sequência de operação tendo em atenção as paragens eventuais dos equipamentos que possam ocorrer. Uma vez programado para produzir um determinado tipo, quantidade e destino (para silo a granel ou saco), o operador inicia o processo. Caso ocorra alguma falta de matéria-prima no sistema de produção, a operação é interrompida e um alarme informa o operador do ocorrido.



Figura 5.13 – Dosagem e pesagem das diferentes matérias-primas

Uma vez doseados e pesados, os componentes são descarregados no misturador através de válvulas pneumáticas. O tempo de mistura varia em função da composição específica da argamassa a produzir, sendo de seguida descarregada para os vários destinos possíveis. O sistema de limpeza funciona com jatos de ar comprimido, permitindo menor tempo de paragem em situação de mudança de produto.



Figura 5.14 – Aspeto do misturador

Concluída a operação de mistura a argamassa produzida, segue-se a ensilagem do produto acabado a granel ou a ensacagem, palatização e plastificação do produto acabado em saco. Nesta fase o produto está pronto para ser transportado para o local da obra.





a) Ensacagem; b) Palatização

Figura 5.15 – Armazenamento das argamassas

### 5.3. Visita à obra de reabilitação de um edifício pombalino

Efetou-se, no dia 24 de Fevereiro de 2012, uma visita à obra. O exemplo de aplicação diz respeito a um edifício de habitação multifamiliar com seis pisos que se encontra em reabilitação em Lisboa na rua dos correeiros nº25. O edifício data de um período posterior ao terramoto de 1755 em Lisboa, tendo características típicas de uma construção pombalina. O piso térreo é constituído por uma estrutura em arcos, pilares e paredes de alvenaria de pedra, que servem de suporte aos pisos elevados e ao teto do rés-do-chão, constituído por um conjunto de abóbadas. Nos pisos acima do rés-do-chão as paredes resistentes, exteriores e interiores, de pedra irregular, são bastante espessas e têm no seu interior um pórtico tridimensional de madeira formando as “Cruzes de Santo André”, estas cruzes são constituídas por prumos, travessanhos e escoras com secções da ordem de  $0,10 \times 0,12 \text{ m}^2$  e frechais de  $0,16 \times 0,12 \text{ m}^2$ . As paredes divisórias são de tabique de madeira com acabamento fasquiado e muito esbeltas, com aproximadamente 10 cm de espessura. Os pavimentos são constituídos por vigamentos de madeira, com secções retangulares, compreendidas entre  $0,10 \times 0,13 \text{ m}^2$  e  $0,16 \times 0,16 \text{ m}^2$  afastadas de 0.40m, apoiados nas paredes resistentes e complementados com soalho.

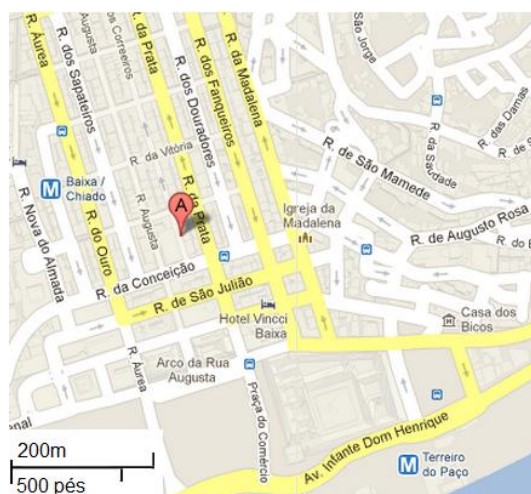


Figura 5.16 – Localização do edifício visitado [Google Maps ®]

---

### 5.3.1. Anomalias verificadas no edifício

O edifício apresentava bastantes anomalias resultantes da passagem do tempo e das várias ações a que foi sujeito. Para além disso, esta construção evidenciava ainda problemas resultantes de intervenções anteriores mal executadas.

As principais anomalias registadas no edifício foram:

- Remoção de alinhamentos estruturais, nomeadamente ao nível dos pisos 2 e 3, que serviam de apoio aos vigamentos e aos alinhamentos de paredes de frontal dos pisos superiores. Esta alteração compromete o encaminhamento das cargas verticais para as fundações
- Os humedecimentos e apodrecimentos de elementos de madeira por efeito de infiltrações através dos vãos das fachadas principais e do tipo de utilização na zona das casas de banho e cozinhas, ocorreram humidificações de elementos de madeira de paredes e pavimentos, que tiveram como consequência o deslocamento de tetos estucados, a progressão de fenómenos de ataques de fungos de podridão em paredes, de frontal e de tabique, vigamentos e soalhos
- Criação de grandes rasgos para passagem de tubagens, que condicionam o monolitismo da estrutura de alvenaria e que é urgente repor
- Degradação de alguns vigamentos, associada à insuficiência de ligação às paredes de alvenaria, o que compromete o comportamento conjunto da estrutura, já que os pisos, deixando de funcionar como diafragma, reduzem a resistência global do edifício e a capacidade de redistribuição de cargas entre paredes
- Colocação de betonilhas e lajes de betão com um peso elevado sobre os vigamentos existentes, provocando a deformação dos pavimentos e um aumento significativo das cargas permanentes que condiciona a resposta do edifício também para as ações horizontais
- Os revestimentos em azulejo, que são parte relevante da solução arquitetónica deste edifício, apresentam diversas anomalias que vão desde o desaparecimento de alguns exemplares à reposição incorreta de outros, passando por desprendimentos entre azulejos e as argamassas e pela degradação superficial de algumas peças
- As escadas principais apresentam elevadas deformações, quer ao nível dos pisos quer ao nível dos patins intermédios.

Em síntese, pode dizer-se que, não estando comprometida a segurança estrutural do edifício, o seu desempenho estava bastante diminuído e necessitava, por isso, da intervenção efetuada.



a) Fachada com infiltrações; b) Deformações excessivas

Figura 5.17 – Exemplos de anomalias observadas

### 5.3.2. Reforço

O projeto de intervenção do presente edifício (realizado pela A2P Consult, Estudos e Projetos Lda.) baseou-se numa lógica de reposição das estruturas originais sempre que o seu estado de conservação o permitiu, e na substituição ou reconstrução dos elementos degradados através de estruturas leves, com base em materiais como a madeira e o aço.

Neste sentido, as soluções passaram pela garantia de preservação das paredes exteriores de alvenaria e dos alinhamentos das paredes interiores existentes (frontais), assegurar uma eficaz ligação entre as paredes exteriores, entre frontais e paredes exteriores e entre todas as paredes e os pavimentos que elas suportam. Desta forma, foi possível dispor de uma estrutura eficiente, que garante a resistência às cargas verticais decorrentes dos pesos próprios, das sobrecargas de utilização e das forças horizontais. Para isso, escolheu-se uma correta distribuição das paredes interiores dotadas de estruturas de madeira robustas e executaram-se um conjunto de trabalhos de reforço de ligações que incluíram a realização de pregagens que permitiram garantir a ligação entre os diferentes elementos.

Para efeitos de dimensionamento e verificações de segurança dos diversos elementos estruturais, recorreram-se, sempre que possível, aos Eurocódigos. No caso das estruturas metálicas, utilizou-se o Eurocódigo 3 (EC3 – Projeto de Estruturas de Aço) e as estruturas de madeira foram dimensionadas recorrendo ao Eurocódigo 5 (EC5 – Projeto de Estruturas de Madeira). As paredes resistentes, devido à sua heterogeneidade de materiais, não permitem a utilização do Eurocódigo 6 (EC6 – Projeto de Estruturas de Alvenaria) assim sendo, nas verificações de segurança das alvenarias à compressão e ao corte, foram consideradas as seguintes expressões [74]:

- Compressão:  

$$f_d = f_k / \gamma_d \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (5.1)$$
com,  

$$f_k = E / 1000 \text{ (kN/m}^2\text{)} \text{ e limitada a } 1000 \text{ kN/m}^2 \quad (5.2)$$
- Corte:  

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \sigma_d \leq 0.06 f_{bk} \quad (5.3)$$
- Tração: limitada a  $150 \text{ kN/m}^2$

Onde,

$E$  – módulo de elasticidade da alvenaria ( $E = 1 \text{ MPa}$ )

$f_k$  – tensão característica de resistência à compressão

$f_d$  – tensão de segurança de resistência à compressão

$\gamma_m$  – coeficiente de segurança ( $\gamma_m = 3$ )

$f_{vk}$  – tensão característica de resistência ao corte

$f_{vko}$  – tensão característica de resistência ao corte da alvenaria sem estar sujeita à tensão axial ( $f_{vko} = 200 \text{ kN/m}^2$ )

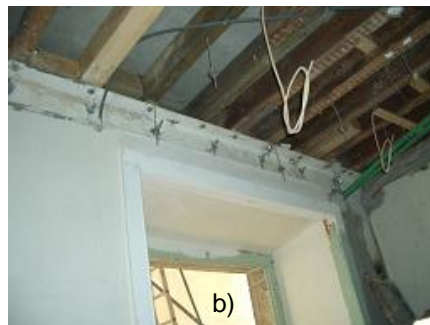
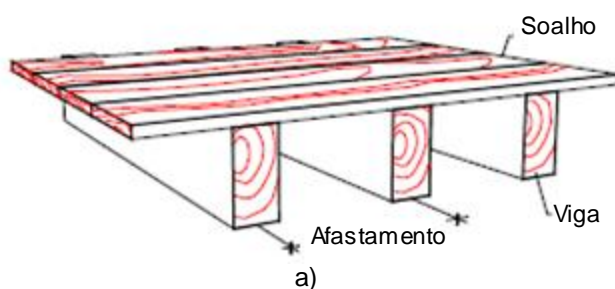
$\sigma_d$  - tensão de compressão atuante nas alvenarias

$f_{bk}$  – tensão característica de resistência à compressão dos elementos que constituem a parede de alvenaria ( $f_{bk} = 10000 \text{ kN/m}^2$ )

Finalmente, para o dimensionamento das estruturas face às ações sísmicas, utilizou-se o Eurocódigo 8 (EC8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos) tanto para o sismo próximo como para o sismo afastado.

### Reforço de pavimentos

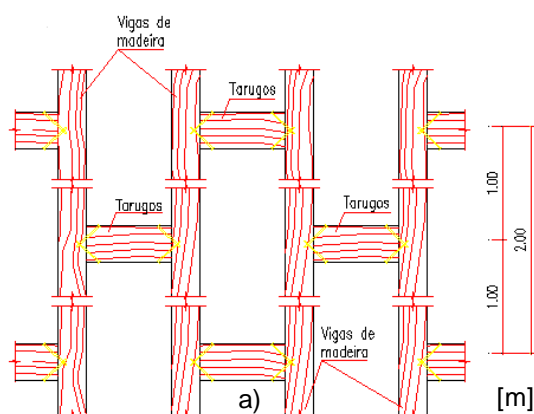
Nos pisos superiores, sempre que foi possível, mantiveram-se os pavimentos de madeira. No caso do estado de conservação não o permitir, procedeu-se ao seu reforço com vigas de madeira, com secções de  $0.08 \times 0.16 \text{ m}^2$  entre as vigas existentes. Os vigamentos novos apoiaram numa cantoneira chumbada às paredes de alvenaria e a verificação da segurança dos pavimentos de madeira foi efetuada contemplando cargas existentes, associadas ao soalho, ao revestimento do teto e às sobrecargas regulamentares.



a) Representação da constituição dos pavimentos [74]; b) Zona de entrega das vigas na parede

Figura 5.18 – Constituição dos pavimentos

Nas zonas húmidas, cozinhas e casas de banho, removeram-se as betonilhas existentes e, tendo em conta os níveis de humidade elevados, aplicou-se um sistema de impermeabilização, constituído por uma camada de argamassa cimentícia armada com rede de fibra de vidro, colocada sobre placas de Viroc. Os vigamentos das zonas húmidas foram devidamente inspecionados e, em caso do seu estado de conservação não permitir manutenção, foram substituídos por vigamentos novos de  $0.08 \times 0.16 \text{ m}^2$  afastados de 0.40m. Os vigamentos novos foram apoiados nas paredes de alvenaria através de uma cantoneira metálica, fixada às paredes através e varões roscados em aço galvanizado.



a) Representação do travamento do pavimento – tarugos em quincôncio [74]; b) Tarugos colocados nos locais necessários

Figura 5.19 – Colocação dos tarugos

### Reforço de paredes

As paredes de frontal existentes foram alvo de uma inspeção cuidada depois de removido o reboco, sendo as secções que se encontravam deterioradas substituídas por secções equivalentes de madeira. O preenchimento de vãos e a construção de novos alinhamentos de parede de frontal seguiram a tipologia estrutural existente e foram preenchidos com alvenaria de tijolo furado, realizou-se ainda o reforço com uma lâmina de reboco armado com rede metálica.



a) Parede frontal sem enchimento; b) Parede frontal preenchido com alvenaria de tijolo

Figura 5.20 – Reparação das paredes de frontal



A reabilitação das paredes resistentes com elementos de madeira foi executada em várias fases :

- Em primeiro lugar, reconstruiu-se a estrutura de madeira, nomeadamente através de pregagem ou aparafusamento, e com o auxílio de pequenas cantoneiras de aço
- A reconstrução da alvenaria foi feita manualmente, elemento a elemento, no caso de se recorrer a tijolo maciço, ou por vazamento em molde, no caso de alvenaria de pedra miúda.
- A argamassa utilizada na ligação entre elementos cerâmicos ou de pedra foi de cimento, cal e areia ao traço volumétrico de 1:1:6
- Concluída a estrutura da parede e fixadas eventuais tubagens da rede elétrica, procedeu-se à pregagem da rede galvanizada de aço distendido em toda a extensão e em ambas as faces da parede
- De seguida, executou-se, o revestimento de reboco, à custa de argamassa em 3 camadas. A primeira, o salpico, com argamassa de cimento e areia ao traço volumétrico de 1:2, servirá para recobrir a rede de aço distendido. A segunda será uma argamassa bastarda ao traço volumétrico de 1:1:6 (cimento Portland, cal aérea e areia) e a terceira terá um traço de 1:2:9 (com os mesmos componentes). A espessura total das camadas de reboco foi de 2,0cm
- Seguiu-se a aplicação da camada de acabamento à custa de caição com pigmento e fixante ou tinta de água, muito permeável ao vapor.



a) Reabilitação de uma parede de tabique; b) Exemplo de uma cantoneira de aço de reforço

Figura 5.21 – Reabilitação de paredes

A execução de pregagens entre elementos de alvenaria destinou-se a garantir a melhoria da ligação entre paredes ortogonais, nomeadamente quando essas ligações se encontram afetadas por fendilhação. Este trabalho foi executado seguindo os seguintes passos:

- As pregagens foram realizadas através da colocação de varões de aço inoxidável, em furações previamente executadas nas paredes de alvenaria e que atravessam estas inteiramente

- A furação foi realizada por uma máquina de rotação e corte, do tipo das carotadoras utilizadas para a amostragem de betões, sendo o seu diâmetro superior em 50% ao diâmetro dos varões a colocar
- Após a colocação dos varões de ligação, devidamente ancorados nas paredes através de placas de ancoragem, os furos foram injetados com calda de argamassa
- As paredes assim interligadas foram ainda reforçadas, nessa zona, através da incorporação, nos rebocos, de uma rede de metal distendido.

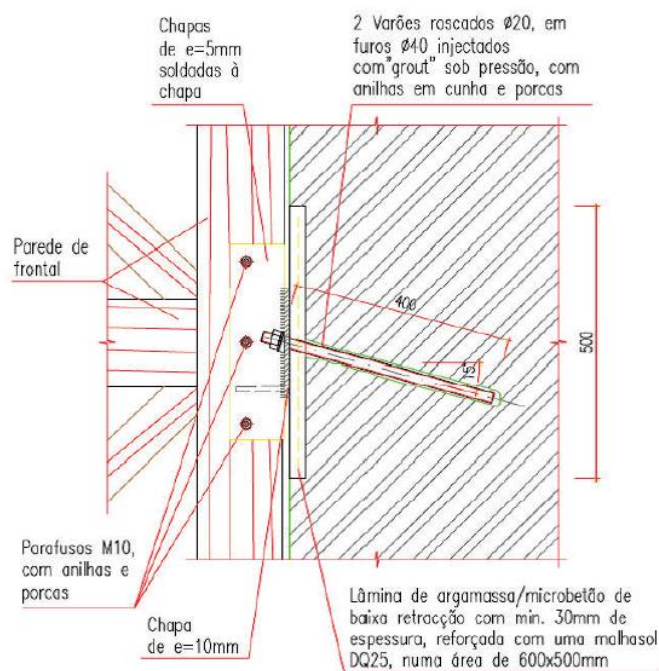


Figura 5.22 – Esquema de uma pregagem entre um frontal e uma parede resistente exterior [74]

## Fundação

Em relação às características do terreno em que o edifício se encontra fundado, adotou-se, para efeitos de cálculo, a situação mais gravosa prevista no EC8 – terrenos do tipo E (“perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de  $v_s$  do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com  $v_s > 800$  m/s”), uma vez que o edifício se encontra fundado num terreno típico da Baixa Pombalina, caracterizado por camadas superficiais aluvionares lodosas com espessuras significativas, atingindo dezenas de metros, sobre um firme que, no presente caso, deverá corresponder entre “Argilas e Calcários dos Prazeres com Vénus ribeiro e Areolas da Estefânia”.

## Caixa de escadas

O núcleo de escada foi mantido, o que implicou a realização de uma inspeção cuidada a toda a estrutura das escadas e paredes periféricas, depois de removido o reboco e algumas zonas do revestimento de piso, nomeadamente junto à entrega das vigas. As secções que se encontravam deterioradas foram substituídas por secções equivalentes de madeira. No entanto, devido às



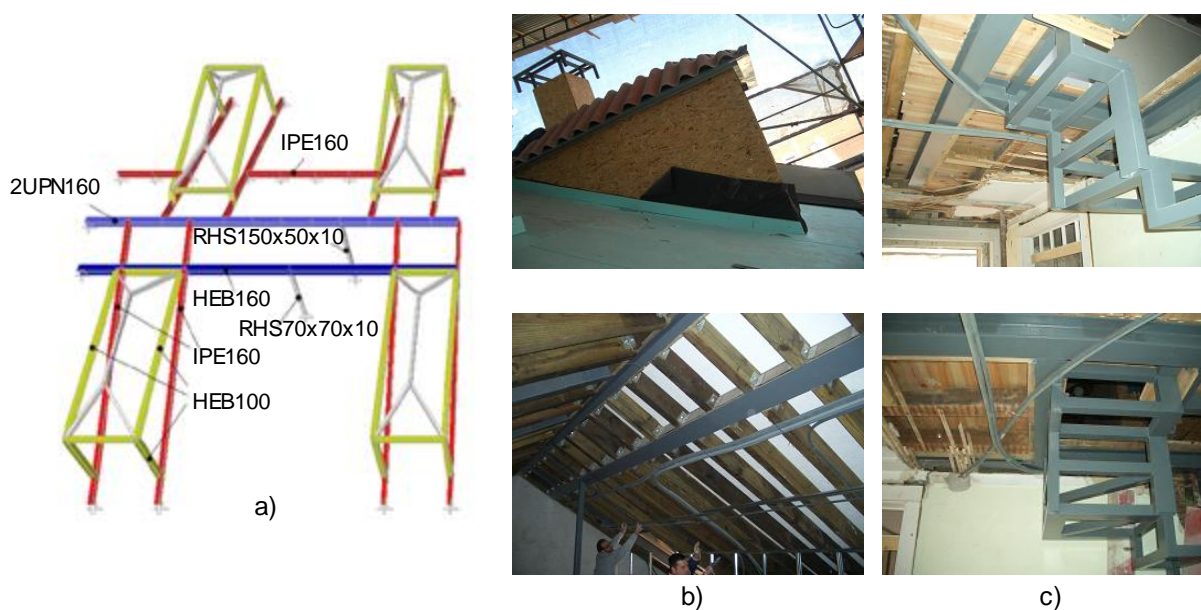
elevadas deformações e à reduzida estabilidade das escadas, foi efetuado o seu reforço com perfis metálicos HEB100.



Figura 5.23 – Reforço da escada com perfis metálicos

### Cobertura

A cobertura foi reconstruída com uma solução mista de aço e madeira. Os alinhamentos principais localizados nas prumadas das paredes de frontal dos pisos inferiores foram executados com perfis metálicos tipo HEB160 e IPE160, sendo o HEB160 pontualmente apoiado em perfis tipo RHS70x70x10. A cumeeira foi executada com dois perfis tipo UPN160, sendo também pontualmente apoiado em perfis tipo RHS150x50x10. Os restantes elementos, as varas, foram constituídos por vigas de madeira com uma secção de  $0.08 \times 0.16 \text{ m}^2$  afastadas 0.40m.



a) Modelo tridimensional da estrutura da cobertura [74]; b) Estrutura da cobertura em aço e madeira; c) escadas de acesso à cobertura.

Figura 5.24 – Cobertura do edifício

As trapeiras são constituídas por uma estrutura formada por vigas de madeira de  $0.05 \times 0.10 \text{ m}^2$  afastadas de 0.40 m eixo a eixo e por perfis metálicos tipo HEB100, que apoiam em varas metálicas do tipo IPE160. Para fazer o coroamento da parede de alvenaria e para o apoio das varas de madeira, foi executado um lintel de betão com secção variável entre 0.30m e 0.40m de espessura e 0.15m e 0.35m de altura.

### 5.3.3. Zonas particulares

Aquando da visita, em fevereiro de 2012, o edifício possuía já algumas zonas reabilitadas, sendo por isso possível verificar o resultado final da intervenção. Dessas zonas, destacam-se os revestimentos em azulejo datados do século XVIII com natural valor histórico, que impediram a abertura de roços nessas paredes. Neste caso, a solução passou por passar todas as tubagens (água, eletricidade, telecomunicações) pelos pavimentos.



Figura 5.25 – Aspeto final de uma zona já intervencionada

---

# CONCLUSÕES, COMENTÁRIOS FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

## 6.1. Considerações gerais

Dada a importância cada vez maior da conservação e reabilitação de edifícios antigos, por um lado, e a necessidade de melhorar o comportamento das alvenarias dos edifícios novos por outro, torna-se crucial o desenvolvimento e o estudo de novas técnicas e materiais a utilizar nas intervenções. Foi este o enquadramento da presente dissertação, que resultou num estudo onde se identificaram as diferentes soluções, técnicas e características existentes de rebocos armados aplicados em alvenarias de pedra irregular de edifícios antigos e em alvenarias de preenchimento dos pórticos de betão armado.

O trabalho realizado desenvolveu-se de acordo com os seguintes parâmetros:

- Pesquisa bibliográfica sobre as principais características da aplicação de rebocos armados em paredes de edifícios antigos, identificação das anomalias mais comuns deste suporte e das demais técnicas de consolidação e reforço utilizadas neste tipo de estruturas
- Pesquisa bibliográfica sobre as principais características da aplicação de rebocos armados em alvenarias de edifícios novos, análise das anomalias mais comuns destas paredes e descrição de outras técnicas de consolidação e reforço utilizadas neste tipo de estruturas
- Pesquisa sobre o estado atual do conhecimento relacionado com ensaios experimentais a diversos tipos de modelos de alvenaria. Com esta pesquisa pretendeu conhecer-se os trabalhos de investigação, tanto internacionais como nacionais, que nos últimos anos vêm sendo desenvolvidos nesta área específica
- Realização de visitas em complemento à pesquisa bibliográfica onde se observou: o processo de fabrico das redes de reforço dos rebocos em fibra de vidro, o processo de fabrico de argamassas secas e a aplicação do reboco armado no reforço de alvenarias de pedra mista numa obra de reabilitação.

---

## 6.2. Conclusões e comentários finais

A análise realizada no presente trabalho permitiu identificar as principais características, soluções e técnicas existentes na aplicação de rebocos armados em dois tipos de suporte diferentes: alvenarias de pedra irregular (com funções estruturais) e em alvenarias de preenchimento de pórticos de betão armado, de tijolo cerâmico ou blocos de betão (sem funções estruturais).

A natureza destas alvenarias é bastante distinta, tal como as construções em que estão inseridas, de seguida apresentam-se as principais conclusões:

- Num edifício antigo, as intervenções requerem particular rigor, critério e formação técnica específica devido ao avançado grau de degradação que a maioria apresenta. A utilização de um reboco armado é uma solução bastante atrativa nestas construções pela sua facilidade de aplicação
- Esta solução tem-se mostrado bastante eficiente em alvenarias de edifícios antigos, conferindo a estas construções um comportamento sísmico importante, através do aumento da ductilidade. A compatibilidade química e física entre o material da armadura de reforço e a argamassa, é de extrema importância para o bom desempenho de um reboco armado. Os resultados dos vários investigadores, observados no capítulo IV, são esclarecedores: todos os modelos reforçados com esta solução apresentaram melhorias em todos os parâmetros mecânicos significativos, carga máxima, deslocamento máximo e ductilidade
- Contudo, é importante referir que a aplicação desta técnica deve ser complementada com outras soluções de forma a melhorar o comportamento global de uma construção, nomeadamente, o comportamento sísmico, o confinamento transversal das paredes ou o melhoramento das ligações entre paredes ortogonais através do uso de pregagens ou conetores metálicos, técnicas mais frequentemente utilizadas e que melhores resultados proporcionam
- No caso das construções novas, as alvenarias são de preenchimento dos pórticos de betão armado, não tendo funções estruturais relevantes, são o principal foco de anomalias dos edifícios, sendo a fissuração a anomalia mais comum e de onde resultam problemas de estanquidade e humidade com consequências na durabilidade dos revestimentos e acabamentos
- A aplicação de um reboco armado neste tipo de suporte tem como finalidade evitar o aparecimento tanto da fissuração generalizada, devido à retração da argamassa de revestimento por exemplo, como da fissuração localizada em zonas de concentração de tensões, como vértices de vãos ou zonas heterogêneas do suporte. As armaduras de reforço

utilizadas são, essencialmente, de dois tipos: redes distendidas sob a alvenaria ou fibras dispersas adicionadas na mistura da argamassa de revestimento

- Os resultados dos trabalhos experimentais analisados no capítulo IV, sobre rebocos armados aplicados neste tipo de suporte, têm conclusões comuns: verifica-se um aumento da capacidade de deformação dos modelos reforçados com esta técnica de reforço e a fendilhação ocorre para carregamentos superiores, comparando com os modelos sem reforço

As visitas realizadas tiveram como objetivo complementar a pesquisa bibliográfica efetuada nos capítulos II e III. Na temática das armaduras de reforço, realizou-se uma visita a uma empresa de produção de redes em fibra de vidro. No que diz respeito às argamassas industriais (secas), realizou-se uma visita a uma fábrica de produção deste tipo de produto. Finalmente, acompanhou-se uma obra de reabilitação de um edifício antigo onde a aplicação de reboco armado foi umas das técnicas de reforço utilizadas. No entanto, não foi possível visitar a construção de um edifício novo com aplicação de reboco armado, apesar dos diversos contatos realizados. A situação do setor da construção, nomeadamente, a diminuição de construções de edifícios novos contribuiu para a dificuldade em encontrar a obra pretendida.

### **6.3. Desenvolvimentos futuros**

Após a pesquisa bibliográfica desenvolvida nesta dissertação, apresentam-se algumas sugestões para desenvolvimentos futuros no âmbito desta investigação:

- Realização de ensaios que avaliem a durabilidade desta técnica, nomeadamente, dos materiais utilizados como armadura dos rebocos
- Realização de ensaios em modelos à escala, em laboratório, onde se testem os dispositivos de ancoragem das redes ao suporte
- Análise numérica desta solução de reforço, de forma a tentar estabelecer o comportamento de estruturas de alvenaria reforçadas com reboco armado
- Comparação entre os resultados experimentais e os resultados obtidos pela análise numérica
- Estudar a viabilidade económica das soluções de reforço apresentadas

---



## Referências Bibliográficas

- [1] ALMEIDA, C.; GUEDES, J.; ARÊDE, A.; COSTA, C. – *Physical Characterization and Compression Tests of One Leaf Stone Masonry Walls*. Construction and Building Materials 30, pg 188–197. Novembro 2011.
- [2] ALVES, S. – *Paredes Exteriores de Edifícios em Pano Simples – Fundamentos, Desempenho e Metodologia de Análise*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da universidade do Porto, Porto, 2001.
- [3] APFAC, Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção – *Monografias APFAC sobre Argamassas de Construção*. Lisboa, 2008.
- [4] APICER, CTCV e DEC-FCTUC - “Manual de Alvenaria de Tijolo”. Associação Portuguesa de Industriais de Cerâmica de Construção, Coimbra, 2000.
- [5] APPLETON, J. – *Reabilitação de edifícios antigos: uma escolha sustentável*. II Jornadas Quercus – Arquitetura Sustentável, 2010.
- [6] APPLETON, J. – *Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e Técnicas de Intervenção*. 1ª Edição. Edições Orion, Amadora, 2003.
- [7] BAIRRÃO, R.; SILVA, M. - *Shaking table tests of two different reinforcement techniques using polymeric grids on an asymmetric limestone full-scaled structure*. Engineering Structures nº31 pg. 1321-1330. Lisboa, 2009.
- [8] BAYRAKTAR, A. e YALÇIN, A. – *Damages of masonry buildings during the July 2, 2004 Dogubayazit (Agri) earthquake in Turkey*. Engineering Failure Analysis nº14. Pg. 147-157, 2007.
- [9] BINDA L., SAISI A. – *State Of Art Research on Historic Structures in Italy*. Dept. of Structural Engineering – Polytechnic of Milan, Italy, 2004.
- [10] BINDA, L.; MODENA, C. - *A multilevel approach to the damage assessment and the seismic improvement of masonry buildings in Italy*. Polytechnic of Milan, 1999.
- [11] BORRI, A.; CASTORI, G.; CORRADI, M.; SPERANZINI, E. – *Shear behavior of unreinforced and reinforced masonry panels subjected to in situ diagonal compression tests*. Construction and Building Materials 25, pg. 4403-4414, 2011.
- [12] CAETANO, L.; GRAEFF, A.; GARCEZ, E.; BERNARDI, S.; SILVA, L. – *Compósito de Matriz Cimentícia Reforçada com Fibras*. II Seminário de Patologias das Edificações, Porto Alegre, 2004.
- [13] CÓIAS E SILVA, V. *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos - Alvenaria, Madeira. Técnicas Pouco Intrusivas*. Argumentum, Gecorpa, 2ª edição, Maio 2007.
- [14] COLOMBO, A.; NEGRO, P.; VERZELETTI, G. – *Improving Ductility and Energy-Dissipation Capacity of Infills by Means of Polymeric Nets*. Proceedings of World Conference on Earthquake Engineering, January 30- February 4, 2000.
- [15] COSTA, A. e ARÊDE, A. – *Strengthening of structures damaged by the Azores earthquake of 1998*. Construction and Building Materials nº20, pg. 252–268, 2006.
- [16] COSTA, A.; ARÊDE, A.; COSTA, A.; GUEDES, J.; SILVA, B. – *Experimental testing, numerical modelling and seismic strengthening of traditional stone masonry: comprehensive study of a real Azorian pier*. Springer Science Business Media, 2010.

- 
- [17] COSTA, A.; CANDEIAS, P.; MASSENA, B.; CÓIAS, V. – *Reforço Sísmico de Edifícios de Alvenaria com Aplicação de Reforços de Fibra de Vidro (GFRP)*. 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, 2004.
- [18] DAWOOD, E.; RAMLI, M. – *High Strength Characteristics of Cement Mortar Reinforced with Hybrid Fibers*. Building Technology, School of Housing, Building and Planning, Universiti Sains Malaysia, 2010.
- [19] Decreto-Lei Nº38 382 – Regulamento Geral das Edificações Urbanas, Agosto de 1951.
- [20] Decreto-Lei Nº251/87 – Regulamento Geral do Ruído, 24de Junho de 1987.
- [21] Decreto-Lei Nº40/90 - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), 06 de Fevereiro de 1990.
- [22] DIAS, L.; PAIVA, A.; VIEIRA, J. – *Reforço de rebocos com fibras de sisal*. 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Lisboa, 2010.
- [23] ESTÉVEZ, D. – *Experimental and Numerical Analysis of Stone Masonry Walls Strengthened with Advanced Composite Materials*. Doctoral thesis, Faculty of Engineering, Bilbao, 2009.
- [24] EU-INDIA ECONOMIC CROSS CULTURAL PROGRAMME. *Identification of Strengthening Strategies*. Improving the Seismic Resistance of Cultural Heritage Buildings, October 2006.
- [25] GONÇALVES, A.; BRITO, J.; BRANCO, F. – *Reabilitação de Paredes de Alvenaria Revestidas*. 2.º Congresso de Argamassas de Construção, 2007.
- [26] HEJAZI, S.; SHEIKHZADEH, M.; ABTAHI, S.; ZADHOUSH, A. - A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, IRAN, 2011.
- [27] HENRIQUES, F. – *A Conservação do Património Histórico Edificado*. Memória nº755. LNEC, Lisboa, 1991.
- [28] HENRIQUES, F. – *Humidade em paredes*. Coleção edifícios, LNEC, 3ª edição 2001.
- [29] HIPOLITO, S. – *Alvenarias em Portugal. Situação atual e perspectivas futuras*. Seminário sobre paredes de alvenaria. Porto, 2002.
- [30] HORROCKS, A.; ANAND, S. – *Handbook of Technical Textiles*. The Textile Institute, England, 2000.
- [31] IZAGUIRRE, A.; LANAS, J.; ALVAREZ, J. – *Effect of a polypropylene fiber on the behavior of aerial lime-based mortars*. Department of Chemistry and Soil Sciences, School of Sciences, University of Navarra, Spain, 2010.
- [32] JUHÁSOVÁ, E.; SOFRONIE, R.; BAIRRÃO, R. – *Stone masonry in historical buildings — Ways to increase their resistance and durability*. Engineering Structures 30, pg. 2194–2205, 2008
- [33] KALALI, A.; KABIR, M. - *Cyclic behavior of perforated masonry walls strengthened with glass fiber reinforced polymers*. Sharif University of Technology, Scientia Iranica, 2010.
- [34] LOPES, M. – *Sismos e Edifícios*. Editora Orion, 2008.
- [35] LOURENÇO, P. – *Defeitos e Soluções para Paredes de Alvenaria Não-Estrutural*. Universidade do Minho, Portugal, 2003.
- [36] LOURENÇO, P. – *Conceção e Projeto para Alvenaria*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, 2002.

- [37] MANZONI, E; DUSI, A.; MEZZI, M. – *Polymeric Grid for a Cost Effective Enhancement of the Seismic Performance of Masonry Buildings*. World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 2008.
- [38] MELI, R. – *Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos*. Fundación ICA, México, 1998.
- [39] MONTE, R.; BARROS, M.; FIGUEIREDO, A. – *Avaliação da influência de fibras de polipropileno na resistência de aderência de revestimentos de argamassa*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, 2011.
- [40] MU, B.; MEYER, C.; SHIMANOVICH, S. – *Improving the interface bond between fiber mesh and cementitious matrix*. Cement and Concrete Research nº 32, pg. 783–787, 2002.
- [41] Norma Portuguesa (NP) 80 (1964) “Tijolos para alvenaria. Características e ensaios”. Edição Outubro 1975, IPQ, Lisboa.
- [42] OLIVEIRA, F. – *Reabilitação de parede de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada*. Tese de Doutoramento. Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2001.
- [43] PAGAIMO, F. *Caracterização Morfológica e Mecânica de Alvenarias Antigas - Caso de estudo da Vila Histórica de Tentúgal*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 2004.
- [44] PAPANICOLAOU, C.; TRIANTAFILLOU, T.; LEKKA, M. – *Externally Bonded Grids as Strengthening and Seismic Retrofitting Materials of masonry panels*. University of Patras, Department of Civil Engineering, Structural, Greece, 2010.
- [45] PAULINA, F. – *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes*. Tese de doutoramento em Engenharia Civil – Reabilitação do Património Edificado, pela Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2004.
- [46] PENAZZI, D.; VALLUZI, M.; SAISI, A.; BINDA, L.; MODENA, C. – *Repair and Strengthening of Historic Masonry Buildings in Seismic Areas*. Dept. of Struct. Engineering, Polytechnic of Milan, 2006.
- [47] PEREIRA, M. – *Anomalias em Paredes de Alvenaria Sem Função Estrutural*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, 2005.
- [48] PINHO, F. – *Paredes De Alvenaria Ordinária - Estudo Experimental com Modelos Simples e Reforçados*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2007.
- [49] PINHO, F.; BAIÃO, M.; LÚCIO, V. – *Experimental Analysis of Rubble Stone Masonry Walls, Strengthened with Reinforced Lime and cement Mortar Rendering and Transversal ties*. Challenges for Civil Construction, 2008.
- [50] PINHO, F.; LÚCIO, V.; BAIÃO, M. – *Experimental Analysis of Rubble Stone Masonry Walls, Strengthened with Reinforced Micro-Concrete Layers and Transversal ties*. AZORES 1998 - International seminar on seismic risk and rehabilitation of stone masonry housing, 2008.
- [51] PINHO, F. – *Paredes de edifícios Antigos em Portugal*. 2ª Edição, Coleção Edifícios n.º8. LNEC, Lisboa, 2008.

- 
- [52] ROQUE, J. e LOURENÇO, P. – *Caracterização Mecânica de Paredes Antigas de Alvenaria*. Universidade do Minho, Guimarães, Setembro 2002.
- [53] SEVIL, T.; BARAN, M.; BILIR, T.; CANBAY, E. – *Use of Steel Fiber Reinforced Mortar for Seismic Strengthening*. Construction and Building Materials nº25, pg. 862-899, 2011.
- [54] SILVA, J. – *Alvenarias Não Estruturais – Patologias e Estratégias de Reabilitação*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B. Lourenço & H. Sousa, Porto, 2002.
- [55] SILVA, J.; ABRANTES, V. – *Patologia em Paredes de Alvenaria: Causas e Soluções*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B. Lourenço et al. (eds.), 2007.
- [56] SILVA, J. – *Alvenarias Não Estruturais – Patologias e Estratégias de Reabilitação*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, 2002.
- [57] SOFRONIE, R. – *Seismic Strengthening of Masonry in Buildings and Cultural Heritage*. 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica. University of Bucharest, Romania, 2004.
- [58] SOFRONIE, R. – *Application of Reinforcing Techniques with Polymer Grids for Masonry Buildings*. Report nº5 of the RTN CASCADE, edição LNEC, 2005.
- [59] TAVARES, A.; COSTA, A.; VARUM, H. – *Manual de Reabilitação e Manutenção de Edifícios – Guia de Intervenção*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Inovadomus, 2011.
- [60] VALLUZZI, M. R., da PORTO F., MODENA C. - *Behavior of multi-leaf stone masonry walls strengthened by different intervention techniques*. University of Padua, Department of Structural and Transportation Engineering, Padua, Italy, 2001.
- [61] VALLUZZI, M. R.; MAZZON N.; MUNARI M.; CASARIN F.; MODENA C. - *Effectiveness of injections evaluated by sonic tests on reduced scale multi-leaf masonry building subjected to seismic actions*. Department of Structural and Transportation Engineering, University of Padua, Italy, 2009.
- [62] VEIGA, M. – *Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes*. Atas do 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa, LNEC, Maio de 2003.
- [63] VEIGA, M. – *Comportamento de Argamassas de Revestimento de Paredes – Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*, Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, LNEC, 1998.
- [64] VEIGA, M. – *Comportamento de revestimentos de fachadas com base em ligante mineral. Exigências funcionais e avaliação do desempenho*. APFAC, 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, 2005.
- [65] VEIGA, M. – *Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos*. Seminário Univer(s)cidades – desafios e propostas da candidatura. Universidade de Coimbra, 2006.
- [66] VINTZILEOU, E. N.; MILTIADOU-FEZANS, A. - *Mechanical properties of three-leaf stone masonry grouted with ternary or hydraulic lime-based grouts*. Engineering Structures. Vol. 30, pg. 2265– 2276, 2007.

## **Websites**

- [67] [http://www.fixol.pt/artigos\\_detail.php?nID=14&aID=28](http://www.fixol.pt/artigos_detail.php?nID=14&aID=28)
- [68] <http://www.bekaert.com/en/Product%20Catalog/Application/Construction.aspx>
- [69] <http://www.topeca.pt/>
- [70] [http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/wp-content/uploads/2008/09/fibra\\_de\\_vidro.jpg](http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/wp-content/uploads/2008/09/fibra_de_vidro.jpg)
- [71] [http://www.porcher.com.br/tela\\_reforco.asp](http://www.porcher.com.br/tela_reforco.asp)
- [72] <http://www.owenscorning.com/>
- [73] <http://pt.saint-gobain-glass.com/b2c/default.asp>

## **Outros Documentos**

- [74] A2P Estudos e Projetos. Reabilitação de Edifício da Rua dos Correeiros nº 25, Lisboa. Projeto de execução, Novembro de 2010.